



TITLE:

生活行動を考慮した交通需要予測
ならびに交通政策評価手法に關する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

藤井, 聡

CITATION:

藤井, 聡. 生活行動を考慮した交通需要予測ならびに交通政策評価手法
に關する研究. 京都大学, 1998, 博士(工学)

ISSUE DATE:

1998-03-23

URL:

<https://doi.org/10.11501/3135645>

RIGHT:

生活行動を考慮した
交通需要予測ならびに交通政策評価手法
に関する研究

1997 年 12 月

藤井 聡

序

交通計画を含む土木計画一般は、本来、人々の幸福をより向上させるべきものでなければならないであろう。しかし、この考え方に基づいて交通計画、都市計画を遂行することは容易ではない。なぜなら、何が幸福であり、どのようにすればその幸福などというものを向上できるのか、といった問題は極めて主観的、かつ、個別的なものだからである。したがって、そのような問題に客観的、かつ、一般的な解答を提供することは不可能であろう。しかし、当然ながら、人々の幸福を客観的に観測することが不可能である、ということが、人々の幸福を念頭に置かずに土木計画を推進することの正当性を積極的に支持する理由となるとは考えられない。このように考えた場合、確かに個人の幸福を客観的に観測することが不可能ではあっても、人々の幸福の向上を図るためには人々の幸福と正の相関を持つであろうと期待される指標を定義し、それをより向上させるような政策を実施する、という方法を用いることが唯一計画者に残された道となるのではなかろうか。

従来からも、この期待に基づいて様々な指標が定義され、それに基づいて種々の政策の意思決定がなされてきたものと考えられる。交通計画においては、交通速度と交通容量が、計画決定のための代表的な指標として挙げることができよう。より早く、より多くのヒトとモノを運ぶような交通システムがより良い交通システムであると認識されてきたものと考えられる。この背景には、交通速度が高ければ人々は混雑に伴う苦痛を感じることもなく、より長い時間を労働や自由活動に使うことができるであろう、そして、交通容量が高ければ交通システムを利用することで便益を被る人々が多くなるであろう、と期待されていたことが原因であるものと考えられる。また、交通速度や交通容量が大きければ物流における輸送コストも低減されるであろうし、人々はたくさんの財やサービスをいろいろな場所で購入、消費できるようになるという利点も存在するであろう、と期待されてきたものと考えられる。

確かに、交通速度と交通容量を向上させることで、様々な正の効果が生じるものと考えられる。しかし、その一方で、交通速度や交通容量の向上を図った政策によって、新たな交通需要が誘発され、それに伴った様々な弊害が生じることも事実であろう。例えば、交通速度と交通容量の増大は、通勤におけるトリップ長と通勤時間、そして、混雑を増大させた原因となっているものと考えられる。特定の観光地が混雑しているという現象も、同様の原因を持つものであると考えられる。これらのことを考えると、高い交通速度と交通容量を確保するための交通システムが整備された地域の住民は、実は、平日には満員電車で揺られて職場に行き、休日には観光地での自動車渋滞に巻き込まれ、それを避けるために結局は自宅でテレビを見ているような生活を営んでいる、という状況となっている可能性が十分にあるものと考えられる。もし、その様な人々が少なからず存在しているのなら、交通速度と交通容量の向上に焦点をあてた政策を行ってきたことが正しかったといえるのであろうか？

この様に考えると、交通速度や交通容量といった指標だけでは、個人の幸福を考えるためには不十分であるものと考えられる。したがって、交通速度や交通容量とは別の、人々の幸福と

正の相関関係を持つ何らかの指標を提案する必要性が生じてくる。

本研究は、交通速度や交通容量よりは、個人の時間の使い方、あるいは、それに伴う満足の程度、といった生活行動のパターンについての何らかの指標の方が、より忠実に人々の幸福を反映しているものであると考える。当然ながら、個人の幸福を客観的に観測することは不可能であるが、個人の幸福の向上を図るための政策を検討するためには、少なくとも個人の生活行動を考慮することは不可欠ではないかと考えるのである。そしてこの認識のもと、本研究は、個人の生活行動自体の再現を図る行動モデルを構築し、そして、個人の生活の満足度を反映する生活行動パターンについての何らかの指標を提案することを最終的な目的とする。こうして構築される行動モデル、あるいは、生活行動についての何らかの指標を政策評価ツールとして活用することで、人々の幸福に貢献するような交通計画を探るための基礎的な検討を行うことができるものと考えられる。それとともに、個人の生活行動自体の再現を図ることで、交通政策によって誘発される需要を考慮した上で、的確に交通需要予測ができるようになるものと期待される。

本論文はこのような認識のもと、生活行動についての行動モデルを構築するために、そして、生活の質についての指標を定式化するために行ってきた基礎的な研究成果をまとめたものである。この研究が個人の生活の質に貢献するような交通計画を検討する方法論を開発するための礎となれば望外の喜びである。

1997 年 12 月

藤井 聡

目次

第一章 序論	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 本研究の目的	2
1.3 本論文の構成	3
第一章 参考文献	6
第二章 従来の Activity Based Approach に基づく研究	7
2.1 従来の代表的な生活行動モデル	7
2.1.1 構造方程式モデルの枠組みに基づく生活行動モデル	7
2.1.2 制約条件下での効用最大化を仮定した生活行動モデル	8
2.1.3 複数の行動モデルを組み合わせた生活行動モデル	10
2.2 各モデルアプローチの特徴	12
2.3 本研究での研究の方針	14
第二章 参考文献	16
第三章 生活行動を考慮した交通解析のための基礎データについて	19
3.1 トリップダイアリーデータからアクティビティダイアリーデータへ	19
3.2 ダイアリー調査の概要	21
第三章 参考文献	25
第四章 構造方程式モデルに基づく就業者の行動モデルを用いた誘発需要に関する分析	26
4.1 序言	26
4.2 選好水準モデル	27
4.3 就業者行動モデル	30
4.4 感度分析	36
4.5 結語	38
第四章 参考文献	42
第五章 逐次的意思決定過程を仮定した生活行動シミュレーションモデルの構築	43
5.1 序言	43
5.2 シミュレーションモデルにおける仮想個人の挙動	44
5.2.1 シミュレーションモデルの前提	47
5.2.2 シミュレーションモデルにおける仮想個人の意思決定過程	49
5.3 個々の意思決定に関する仮定とそのモデル化	49
5.3.1 想定時間分布モデル	49

5.3.2	活動内容選択モデル	55
5.3.3	交通機関・目的地選択モデル	61
5.4	シミュレーションモデルの検証	67
5.5	シミュレーションモデルの適用	69
5.6	結語	71
第五章	参考文献	75
第六章	SP データを用いた効用理論に基づく生活行動モデルの構築についての基礎的考察	77
6.1	序言	77
6.1.1	効用理論に基づいた生活行動モデルの必要性	77
6.1.2	効用理論に基づいた生活行動モデルの課題点	78
6.1.3	本研究における効用理論に基づいた生活行動モデルの構築方針	81
6.2	生活効用モデルの概要	82
6.2.1	生活効用関数の定式化にあたっての基本的な考え方	82
6.2.2	生活効用関数の定式化	83
6.2.3	生活効用に基づいた個人の意思決定についての仮定	84
6.2.4	生活効用関数を用いた交通需要予測手法と政策評価手法	86
6.3	分析のためのデータの概要	89
6.3.1	SP 調査で考慮した要因	90
6.3.2	SP 調査における実験計画	91
6.4	SP データに基づく生活効用関数の特定	93
6.4.1	生活効用関数についての基礎的検討	93
6.4.2	推定計算	98
6.5	生活効用関数に基づく仮想状況下での需要解析および政策評価についての数値計算	
例		107
6.6	結語	109
第六章	参考文献	114
第七章	効用理論に基づいた生活行動シミュレーションモデル	116
7.1	序言	116
7.2	生活行動シミュレータ PCATS-RUM の概要	116
7.3	生活効用モデル	121
7.3.1	個人の生活行動についての基本的仮定	121
7.3.2	未知パラメータの推定方法	127
7.3.3	動的計画法に基づく最適生活パターンの検出	141
7.4	PCATS-RUM の適用計算事例	145

7.4.1	PCATS-RUM の適用計算の結果	145
7.4.2	PCATS-RUM と PCATS との比較	150
7.5	結語	153
第七章	参考文献	160
第八章 効用理論に基づいた生活の質を考慮した		
	政策評価・地域評価指標についての基礎的考察	161
8.1	序言	161
8.1.1	評価指標としての期待生活効用の考え方	161
8.1.2	期待生活効用算定にあたっての問題点	161
8.1.3	本章の目的	163
8.2	就業者の生活パターン選択肢集合	164
8.2.1	就業者の生活行動の意思決定についての仮定	164
8.2.2	選択肢集合 C^n を特定化する方法について	166
8.2.3	選択肢集合の形成確率 $P(TC_n = D_j^n)$ の定式化	167
8.3	就業者の生活効用関数の特定化	168
8.3.1	生活効用関数特定化のための選択肢集合の設定	168
8.3.2	選択肢集合の不確実性を考慮した推定計算	169
8.3.3	生活効用の要因とその効果の特定化	172
8.4	期待生活効用の算定例	177
8.4.1	期待生活効用の算定手順	177
8.4.2	期待生活効用に基づく評価例	178
8.5	結語	180
第八章	参考文献	185
第九章	結論	185

第一章 序論

1.1 本研究の背景

従来、個人の交通行動の解析を目指す場合、個々の交通行動に焦点をあて、目的地や交通機関といった個々のトリップの属性をモデル化するというアプローチ、すなわち、trip-based approach が用いられることが一般的であった。この背後には、計算機の計算能力に限界があったこと、あるいは、調査手法が確立していなかったことなどの様々な原因が考えられるが、最も主要な原因の一つとして、道路網、鉄道網といった交通基盤整備が不十分であると一般的に認識されていたことが考えられる。この交通基盤整備が不十分であるとの認識は、大規模な財源を組み、そして、大規模な交通基盤整備を行うことが交通政策上必要であるとの考え方を導き、そして、それに伴って開発される政策評価ツールも、交通基盤整備の評価を第一義的な目標とされることとなったものと考えられる¹⁾。

交通基盤整備は周辺の土地利用や地域経済等、様々なものに影響を及ぼす。しかし、最も直接的に影響を及ぼす対象は、交通量や移動速度といった集計的な交通状態量であろう。したがって、交通基盤整備の評価を第一義的な目標として交通需要予測モデルの構築を目指した結果、集計的な交通状態量を内生変数とする集計モデルが開発されるようになったものと考えられる。そして、その後に、交通需要予測の精度の向上を目指すためには個人間の差異を考慮し、かつ、行動原理を考慮することが有効であるとの認識から²⁾、個々人のトリップの形態を予測する非集計タイプの行動モデル、すなわち、trip-based approach に基づく行動モデルが開発されるに至ったものと考えられる。

しかし、個々の交通行動と個々の活動との間に相関が存在するのは自明であろう。「あの場所で遊びたいから、あそこへ行こう」「今日はお酒を飲みに行くから電車で行こう」「今日は遅くなるから、車で行こう」等、我々の日常生活において、活動を実行するためにトリップを実行し、また、活動の種類によって交通機関や目的地といったトリップの形態が規定される例は数多く挙げられる。したがって、的確に個人の交通行動を把握するためには、活動を考慮することが不可欠である。

従来においても、交通行動モデルを構築するにあたり、その移動の直後の活動の種別をトリップ目的という形で要因として導入する方法等が頻繁に用いられてきた。しかし、トリップ目的を外生変数としてモデルに導入するだけでは捉え切れない移動と活動との間の因果関係が存在することは想像に難くない。活動と移動との関係性を十分に考慮した上で、個人の交通行動を的確に把握し、予測するためには、交通需要は活動の実行に伴って誘発されるものであり、かつ、トリップは個人が時空間内で実行する生活行動の一部である、という認識に立つことが必要であるものと考えられる。一般に、このような認識にたった交通解析アプローチは activity-based approach^{1), 3), 4)}と言われる。この認識に立ち、個々のトリップをモデル化するの

ではなく、個人の生活パターンをモデル化することで、交通需要予測、政策評価をより適切に行うことができるものと期待される。

一方、近年では、都市の過密化や財政的制約、地価高騰によって、交通基盤の整備はより困難となっている。それに加えて、交通基盤整備を行うことによって新しい交通需要が誘発され、長期的に考えた場合には、交通基盤整備による交通混雑の解消効果は期待されるほど大きくないかも知れない、という危惧も存在する。これらを背景として、近年では、交通混雑を解消する方策として、フレックス制やテレコミュティングなどの生活自体に直接働きかける交通需要マネジメント政策が注目されている。交通政策の基本的な考え方が、交通基盤整備から個人の生活に直接働きかける交通需要マネジメント政策へと移りかわるに伴って、activity-based approach に基づいた交通モデルの必要性が、より高まっているものと考えられる。

さらに、交通モデルを構築する際のアプローチとして activity-based approach を採用することで、個人の生活の質を視野に入れた政策評価も可能となるものと期待される。本来的に、行政の目的が市民（国民）の幸福への奉仕であると考えらるなら、政策を評価する場合に、交通量や移動速度といった、交通解析上の量的な指標のみを用いるだけでは不十分であろう。何らかの政策を実施することで各個人の生活が豊かになり、各個人の生活の満足度が向上するということが理解されてはじめて、その政策が「良い」政策であるという価値判断が行えるのではなかろうか。このような判断を行うためには、個人の生活の豊かさ、あるいは、生活の満足度を何らかの形で指標化し、その指標と交通政策の形態との関係を把握することが必要である。そして、このような生活の豊かさや満足度を表す指標の開発を目指す場合、交通行動だけではなく、生活行動まで分析の対象とすることは不可欠であろう。

1.2 本研究の目的

本研究では、以上の認識に基づいて、よりの確な交通需要予測を行うこと、ならびに、個人の生活の質に貢献する交通政策を評価するための指標を開発することを目指して、個人の生活行動に着目したいくつかの基礎的な分析を行う。

そして、研究を推進するにあたり、特に、

- 1) 交通システムのサービスレベルの向上によって新しい交通需要は誘発されるのか？
- 2) 複雑な生活行動の意思決定をどこまでモデル化できるのか？
- 3) 個人の生活の質を考慮した政策評価指標として、どのようなものが開発できるのか？

という3点に着目する。

1) の回答として、誘発需要の存在が分析結果として示されれば、誘発需要を考慮した的確な交通需要予測手法が必要とされるものと思われる。

的確な交通需要予測を行うためには、上述のように交通行動と密接に関係する生活行動を考慮した交通モデルが必要である。しかし、構築するモデルが数理的かつ統計的なモデルである以上、完全に個人の生活を再現することは不可能である。したがって、従来の研究においてなされた研究業績を踏まえた上で、複雑な個人の生活行動意思決定をどこまでモデル化できるのか、という 2) の疑問点に回答を与えることが必要とされよう。

さらに、個人の生活の質に貢献する交通政策を評価するための指標を開発するためには、主観的、かつ、潜在的な生活の質をどのような枠組みで捉え、指標化するか、という 3) の疑問点に回答を与えることが不可欠である。

本研究では、以上の考え方に基づいて、いくつかのアプローチに基づいて、個人の生活行動に着目した分析、ならびに、行動モデルの開発を行う。

1.3 本論文の構成

本論文は、図 1-1 に示すように 9 章から構成される。

本章では、activity-based approach の必要性について述べた。従来においても activity-based approach に基づく様々な研究がなされており、第二章においてこれらの既存の研究についての文献調査を行う。そして、従来において構築されてきた生活行動の再現を図るモデルの方法論、ならびに、その特徴を整理し、それに基づいて、本研究における分析の基本的な方法論について再び検討する。その一方で、第三章では、activity-based approach に基づいた行動分析、ならびに、行動モデルの構築を図るために必要とされるアクティビティダイアリーデータについて述

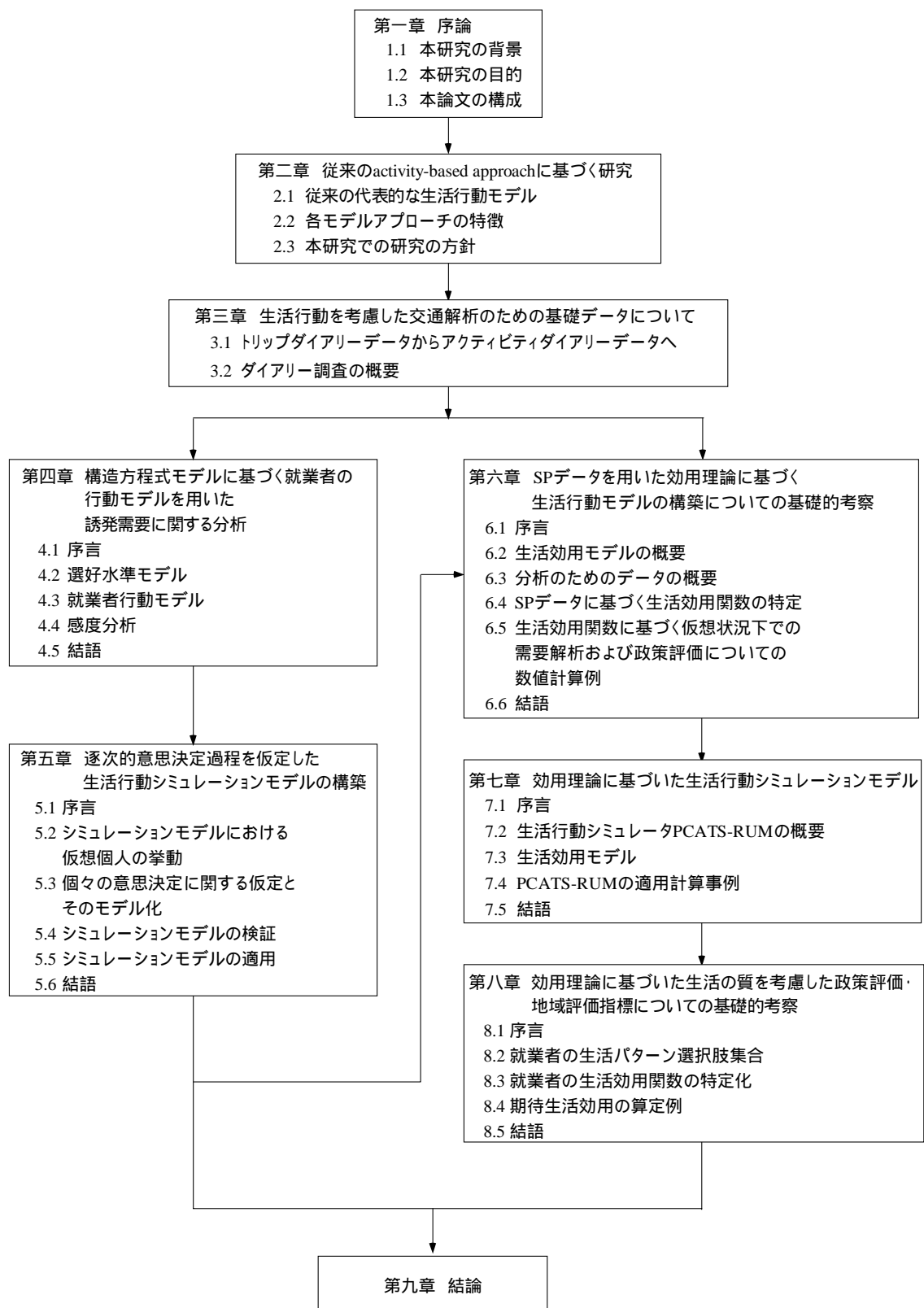


図 1-1 本論文の構成

べる。

第四章では、モデル化の対象を就業者に限定した上で、構造方程式モデルのアプローチに基づいて、簡便に生活行動を再現する枠組みを示す。それと共にそのモデルアプローチを用いて誘発需要についての検討を行う。第五章では、モデル化の対象、ならびに、考慮する選択行動を第四章で構築したモデルよりもさらに拡張した生活行動モデルの構築を目指して、逐次的な意思決定過程を仮定した生活行動シミュレータを構築する。

第六章では、まず、適切に個人の生活パターンの意思決定を再現する理論的枠組みとして効用理論を考えることの必要性、ならびに、効用理論に基づいた生活行動モデルを構築するにあたっての課題点を述べる。そして、SP データを用いて効用関数を特定化し、その効用関数を用いて簡単な政策評価計算を行う。この数値計算を通じて得られた知見に基づいて、第七章では効用理論に基づいて個人の生活行動を再現するシミュレータの構築する。さらに、第八章では、個人の生活の質の一つの指標として、効用理論の枠組みで生活パターン選択における効用の期待値を算定する方法論を示す。そして、仮想的な個人を仮定して数値計算を行い、定式化した期待効用の特徴について基礎的な検討を加える。

最後に、第九章にて本研究で構築したいくつかの生活行動モデルの特徴を整理するとともに、これらの分析を通じて得られた知見を総括する。そして、今後の研究に残された課題を示す。

第一章 参考文献

- 1) 北村隆一:交通需要予測の課題 - 次世代手法の構築にむけて ,土木学会論文集 ,No. 530/IV-30, pp. 17-30, 1996.
- 2) 飯田恭敬編著:交通工学, 国民科学社, pp. 108-118, 1992.
- 3) Jones, P.M., Dix, M.C., Clarke, M.I. and Haggie, I.G. (1983) *Understanding Travel Behavior*, Gower, Aldershot.
- 4) 近藤勝直:交通行動分析, 晃洋書房, pp. 26-55, 1987 .

第二章 従来の activity-based approach に基づく研究

本章では、個人の生活行動を考慮した上で、交通需要予測、ならびに、交通政策評価を行うことを目的とした activity-based approach に基づいた研究を概観し、本研究の位置づけを行う。はじめに、2.1 では、従来に提案されている代表的な生活行動モデルを概観し、2.2 でそれらのモデルの特徴をまとめる。そして、2.3 で、それらの従来においてなされてきた種々の生活行動モデルをふまえた上で、本研究の方針を検討する。

2.1 従来の代表的な生活行動モデル

1970 年に Hemmens が各個人が時間空間軸の中でどのような行動したのかを理解することが都市計画の立案、評価のために極めて有効な手法であると主張し¹⁾、Hagerstrand が個人の生活行動を時間空間座標上での軌跡という形で定量的に表現する方法を提案²⁾して以来、個人の時間軸、空間軸上での生活行動を再現し、それによって交通需要の解析を目指す交通需要解析モデル（以下、生活行動モデルと呼ぶこととする）が数多く提案されてきた。従来までに、構造方程式モデルや、効用理論の枠組みに基づくモデル、あるいは、複数の行動モデルを組み合わせるモデル等、様々なモデルアプローチが生活行動を再現するための枠組みとして適用されてきている。以下、それぞれのモデルアプローチに基づいた生活行動モデルについて述べる。

2.1.1 構造方程式モデルの枠組みに基づく生活行動モデル

構造方程式モデルの枠組みに基づくモデルは、個人の生活行動を、活動内容別の活動数、活動内容別の活動時間等のいくつかの指標で表現し、それらの指標を内生変数、個人属性や交通ネットワークに関する属性等を外生変数として構造方程式を定式化するものである。このアプローチに基づいた研究として Kitamura ら³⁾、黒川ら⁴⁾、瀬戸ら⁵⁾の研究が挙げられる。Kitamura らは、勤務時間、通勤時間、通勤以外の移動時間、宅外での遊び時間、宅外での遊び以外の時間を内生変数としたモデルシステムを構造方程式の枠組みで構築している。また、黒川らは、家庭内の主婦に着目し、主婦の平日、土曜日、休日のそれぞれにおける行動を移動距離、トリップ数、活動時間等の指標で定量的に表現し、それらを内生変数とした構造方程式を構築している。これらの研究で構築されたモデルは、内生変数を予測するためのモデルというよりはむしろ、活動パターンの構造の解析に主眼が置かれたものである。一方、瀬戸らは就業者の勤務日の行動に着目し、活動パターンを買い物活動実行時点、活動時間、トリップ距離で表現し、それらを内生変数とした構造方程式を構築している。その際、内生変数間の相互関係を明示的に考慮すると共に、世帯属性、個人属性等を外生変数とすることでモデルの予測能力の向上を図っている。しかし、このアプローチでは、活動場所や活動内容等についての多項選択問題をモデル化することが極めて困難であり、いずれの研究でも活動時間やトリップ数といった連続

変数をモデル化するととどまっている。また、構造方程式モデルは、変数間の共分散構造を分析することを目的とした枠組みであり、明示的に行動原理を考慮した枠組みであるとは言い難いという点が指摘されている⁶⁾。ただし、多変量間の複雑な共分散関係を把握することが可能な構造方程式モデルを用いることで、交通環境とトリップ頻度等との相関関係を把握することができる。すなわち、交通サービスレベルの向上に伴う誘発需要の発生の有無を統計的に分析することができるものと期待される。

2.1.2 制約条件下での効用最大化を仮定した生活行動モデル

個人の意思決定を明示的に考慮するための代表的な理論的枠組みとして、個人が制約条件下で効用を最大化するように行動を行うと仮定する効用理論が挙げられる。効用理論は、ミクロ経済学における消費者の行動を説明するために提案された理論であり、現在に至るまで人間の様々な行動を説明するための枠組みとして適用されている。

個人の生活パターンを効用理論に基づいて定式化した初期的な研究としては、Becker⁷⁾の研究が挙げられる。Becker は、労働を含む複数の活動の実行と、複数の財、サービスの消費に伴って効用が生じるものと考えた。そして、活動の実行には時間資源を、財、サービスの消費には収入を消費していくものと考え、この時間制約、収入制約の下で最大の効用が得られるように、各活動の活動時間と、各財、サービスの消費量を決定しているものと定式化した。Becker 以後、De Serpa⁸⁾、Evans⁹⁾によっても同様の定式化が行われ、特定の財、サービスを消費するためには特定の活動時間を要する、という仮定を設ける等のモデルの一般化が図られている。

これらのモデルの考え方は、1984 年には Kitamura によって交通需要解析を行う方法論として適用された¹⁰⁾。この研究では、活動を在宅活動と宅外活動に分類し、宅外活動に活動時間が配分される場合には外出トリップの生成され、配分されない場合には外出トリップが生成されないという自明の關係に着目し、個人のそれぞれへの配分時間を、Becker らと同様に消費者理論の枠組みでモデル化している。同様のアプローチは、Supernak¹¹⁾や Kraan¹²⁾、Kitamura et al.¹³⁾によっても交通需要解析モデルを構築する際に適用されている。これらの研究で仮定される定式化では、調査によって観測される時間配分結果が制約条件下での効用最大化の結果得られたものであるという仮定の下で、回帰モデル¹⁰⁾、¹¹⁾、¹²⁾やトビットモデル¹³⁾などの枠組みで効用関数内の未知パラメータを推定している。そして、こうして推定された未知パラメータを用いて、各個人の活動時間等の予測を目指している。また、これらの研究では、活動時間や移動距離、あるいは、財の購入量といった連続変数の選択問題を取り扱うことで、目的地選択や活動内容選択といった離散的な選択を表現する方法が採用されている。すなわち、Kraan¹²⁾は離散的な目的地選択を考慮する代わりに、連続的な移動距離の選択を内生的に取り扱う方法を、Kitamura et al.¹³⁾は離散的な活動内容の選択をその活動の配分時間についての連続的な選択として取り扱う方法をそれぞれ提案している。また、Jara-Diaz¹⁴⁾も同様に買い物目的地選択を各目的地で購入する財の量という連続的な選択問題として取り扱う方法を提案している。しかし、全ての離散選択を連続変数の選択問題として定義することは困難であるものと考えられる。実

際、これらの研究では、連続変数の配分問題の結果として得られる選択問題として捉えることが困難な機関選択や活動の順番といった離散変数についての選択問題は考慮されていない。

離散的な決定変数を扱う方法論として、機関選択や目的地選択といった交通行動の離散選択行動をモデル化する際に広く適用されている。ロジットモデル、プロビットモデルに代表される離散選択モデル¹⁵⁾が挙げられる。離散選択モデルを適用した生活行動モデルとして、Adler and Ben-Akiva のモデル¹⁶⁾、Recker et al. の STARCHILD^{17), 18)}、河上らのモデル¹⁹⁾等が挙げられる。これらのモデルは、活動施設の来訪順列（以下、施設来訪順列。なお、代表的な施設来訪順列としては、自宅 - 職場 - 自宅、あるいは、自宅 - 職場 - その他の地域 - 自宅等が挙げられる）、各トリップの交通機関、各活動の目的地といった離散的な要素の組み合わせによって異なる複数の生活パターンの中から、最大の効用を与える選択肢を選択している、という仮定に基づくモデルである。すなわち、離散選択モデルでは、生活パターンについての選択肢集合を定義するという形で、効用最大化を行う際の制約条件を表現しているのである。なお、これらのモデルはいずれも、各選択肢の効用の誤差項は互いに独立で同一のガンベル分布に従うものと仮定したロジットモデルを適用している。この各選択肢の効用の誤差項が独立であるという仮定を緩和するために、Ben-Akiva and Bowman²⁰⁾ はネスティッドロジットモデルを適用して同様の選択問題を定式化している。また、この研究では、施設来訪順列、交通機関、目的地以外に、一日を4つの時間帯に分割した活動時間帯の選択問題も考慮している。

これらの離散選択モデルを適用したモデルは、明示的に行動原理を導入したモデルであるといえる。しかし、生活パターンが交通機関、施設来訪順列、目的地といった種々の要素で特定されるものであるため、選択肢集合は極めて大きなものとなり、したがって、これらを交通需要予測モデルとして適用するためには、選択肢集合をどのように定義するかが極めて重要な課題である。これらの中で、明示的に選択肢集合を特定した上で、生活パターンを生成するモデルとして、STARCHILD が挙げられる。STARCHILD は、各個人が認識している生活パターン選択肢集合を、プリズム制約や公共交通機関の営業時間制約によって特定化される実行可能な生活パターン集合の部分集合として生成し、その上で各選択肢の効用を算定して各個人の生活パターンを生成する。ただし、実行可能生活パターン集合から、各個人が認識している生活パターン選択肢集合を生成する過程については、データに基づいた実証的な議論は行われていない。

また、連続的な活動時間、あるいは、活動開始時刻をどのように扱うか、ということも、離散選択モデルに基づいて生活行動モデルを構築する場合の重要な課題である。この点については、Ben-Akiva and Bowman²⁰⁾ のモデルが活動開始時刻を離散化した時間帯で表現する、という方法を用いているものの、離散選択モデルの枠組みでは、当然ながら活動時間、時刻等の時間要素を連続変数として扱うことはできない。したがって、時間要素を内生的に取り扱うためには、離散選択モデルの枠組み以外の枠組みが必要となる。

このように、Kitamura¹⁰⁾ あるいは、Kraan¹²⁾ 等が定式化した消費者理論に基づく資源配分モデルでは、活動場所や交通機関といった離散変数についての選択問題を取り扱うことが、そして、

Adler and Ben-Akiva のモデル¹⁶⁾ や Recker et al. の STARCHILD^{17), 18)} 等の離散選択モデルでは、活動時間といった連続変数の選択問題を取り扱うことが困難なのである。すなわち、効用最大化の枠組みを仮定する場合には、離散変数である目的地や交通機関、あるいは、連続変数である活動時間といった様々な要素で規定される生活パターンについての選択問題を統一的に記述する方法論を提案することが重要な課題として残されているのである。

2.1.3 複数の行動モデルを組み合わせた生活行動モデル

生活パターンは、活動数や、個々の活動の活動場所、目的地、内容、時間、そして、個々の移動の交通機関といった様々な要素で規定されるものである。前節では、効用最大化の枠組みに基づいて、これらの複数の要素で規定される生活パターンの選択を同時的に取り扱う方法論について述べたが、選択肢集合が極めて大きなものとなる点、ならびに、離散的な選択と連続的な選択を同時に扱うことが必要である点、がこのアプローチの大きな課題点であった。この課題点は、活動場所、内容といった種々の要素を同時的に選択するものと考えたために生じるものと考えられる。すなわち、目的地選択や機関選択を個別に扱い、かつ、活動時間といった連続的な内生変数については、重回帰モデル、あるいは、hazard-based duration モデル（以下、単に Duration モデルと呼ぶこととする）等の枠組みでモデル化し、それらを組み合わせるといふアプローチを用いることで、効用理論に基づいて生活行動モデルを構築する際に問題となった上述の二つの課題点を回避することができるものと考えられる。ここでは、複数のモデルを組み合わせることで個人の生活パターンの再現を図るモデルシステムについて述べる。

Damm²¹⁾ は連続的な活動時間を重回帰モデルで内生化すると共に、生活パターンの選択を離散選択問題として定式化し、両者を組み合わせた生活行動モデルを提案している。この方法を用いることで、離散的な選択問題と、連続的な選択問題の双方を内生化している。また、Hamed & Mannering²²⁾ は、就業者の仕事終了後の生活パターンを再現する予測ツールとして、在宅時間についての Duration モデルと、活動内容についての離散選択モデル、および、勤務終了後に直接帰る（直帰）かどこかに立ち寄る（非直帰）かという二項選択と、非直帰の場合の移動時間の双方を内生化した離散-連続モデルを組み合わせたモデルシステムを提案している。なお、この離散-連続モデルの考え方は、生活パターンにおける離散変数と連続変数の双方の選択を同時に再現する方法論として活用できるものと期待される。

また、Poeck and Zumkeller によって提案され、その後に Herz, Sparmann, Axhausen らにより発展された German Approach モデル²³⁾ や、Kitamura and Kermanshah^{24), 25)} によって提案されたモデル、あるいは、Kondo²⁶⁾ や Kitamura and Lam²⁷⁾ 等によって提案されているマルコフ過程モデルは、機関選択や目的地選択、あるいは、活動内容等についての離散選択モデルを複数個組み合わせることで生活パターンを再現するものである。これらのモデルの特徴は、機関選択モデル、あるいは、目的地選択モデルといった個々のサブモデルが対象とする範囲が限られたものであるため、膨大な選択肢を特定する必要がなく、効率的に生活パターンを生成していくことができる点である。ただし、個人が常に逐次的に生活行動の意思決定を行っているとは考えが

たい．特に，時間軸上で実行される複数の活動間に，何らかの依存関係，相関関係が存在する場合，これらの逐次的な意思決定過程を仮定したモデルでは，それらの関係を忠実に再現することは困難であると考えられる．なお，マルコフ過程を仮定したモデルについては，個人のトリップチェーンをマルコフチェーンとみなすことは必ずしも適切とはいえない²⁸⁾，あるいは，トリップチェーンがマルコフチェーンでモデル化されることについての行動論的根拠が希薄である²⁹⁾，等の指摘もなされている．

これらのモデルの他，個人の生活パターンは，試行錯誤を繰り返した結果得られたものであるという考え方に基づいて，その試行錯誤自体を複数のサブモデルの組み合わせで再現するモデルも提案されている．その代表的なものとして，SCHEDULER³⁰⁾，SMASH³¹⁾が挙げられる．SCHEDULER は，個人の記憶が個人の行動に及ぼす影響や，行動の実行に伴う記憶の蓄積，ならびに，世帯内の各個人の相互関係を考慮した上で，各個人の生活パターンを生成するモデルである．生活パターンの生成にあたっては，各個人が実行可能な複数の活動についての実行する際の優先順位と，それらの活動をいつ，どこで行うかということについての情報が予め記憶内に蓄積されているものと考え，この記憶データに基づいて，その当日に実行する複数の活動を選定する．そして，移動距離が最小となるように活動を実行する順番を決定し，次いで，交通機関，終了時刻等を決定していく．このモデルは，生活行動のスケジュールの形成過程についての概念的な説明モデルとしては有効であるものと考えられるが，それぞれの選択ルールについての定量的な妥当性については検討されていない．その一方で，SMASH は，個人は試行錯誤を繰り返して活動スケジュールを形成していくと考えるモデルである．このモデルでは，活動スケジュールの試行錯誤を，「新たな活動を加える」「既にスケジューリングされた活動を削除する」「順番を入れ替える」，および「試行錯誤中止」という 4 つの選択肢からなる離散選択モデルを繰り返し適用することで表現している．また，AMOS³²⁾ は，交通需要マネジメントを評価するためのモデルとして開発されたものであり，入力データとして与えられる各個人の生活パターンが政策実行時にどのように変化するかを出力する．モデル内では，実行可能な対応行動をニューラルネットワークを用いていくつか生成し，その中からある一定水準以上の効用を与える対応行動を選定している．なお，効用の算定にあたっては，Kitamura¹⁰⁾と同様の枠組みの時間利用効用関数を用いている．

2.2 各モデルアプローチの特徴

前節では，生活行動モデルを，構造方程式型のモデル，効用理論に基づくモデル，および，いくつかのサブモデルを組み合わせたモデルシステムという 3 つに分類し，それぞれのアプローチに基づいた既存モデルについて述べた．いずれのモデルアプローチにも，それぞれ特徴があり，当然ながら，長所，短所を持つ．以下，それぞれのモデルアプローチの特徴をまとめる．

まず，構造方程式型のモデルについては，個々の変数間の共分散関係を直接的，かつ，統計

的に分析できることが大きな特徴である．その一方で，明示的に行動原理を考慮することが困難であり，かつ，目的地や交通機関といった離散的な選択問題を内生化することが困難であった．

効用理論に基づいたモデルの最も大きな特徴は，個人は制約条件の下で効用を最大化するように生活行動を行っている，という極めて簡素な行動原理を仮定することで，複雑な生活行動についての選択問題を取り扱うことが可能である点である．特に，目的地や交通機関，活動時間といった様々な選択行動のトレードオフ，例えば，ある活動の活動時間とその他の活動の活動時間の間のトレードオフ，活動場所と活動時間のトレードオフ等を考慮できることは大きな特徴である．さらに，この枠組みに基づいて個人の行動をモデル化した場合，ある状況下で各個人が生活行動を実行することで得られる平均的な便益を，生活効用の期待値（以下，期待生活効用）という形で定式化することができる．この方法で定式化される生活行動全般についての期待生活効用は，本研究の目的の一つである個人の生活の質を考慮した政策評価指標として位置づけることができるものと考えられる．この点も，効用理論を用いて生活行動モデルを構築することの長所である．ただし，離散変数である目的地や交通機関，あるいは，連続変数である活動時間といった様々な要素で規定される生活パターンについての選択問題を統一的に記述する方法論を提案することが重要な課題として残されている．また，生活パターンが様々な要素で異なったものとなるため，生活パターンの選択肢集合が極めて大きなものとなり，生活パターンの生成時に実行可能な複数の生活パターンから最大の効用を与える生活パターンを検出することは容易ではない．この点も，効用最大化の考え方に基づいて生活行動モデルを構築する際の，重要な課題である．

最後に，German Approach モデルや，マルコフモデル，あるいは，SCHEDULER，SMASH，AMOS 等の試行錯誤や対応行動に着目したモデルシステム等の，複数の行動モデルを組み合わせた生活行動モデルの大きな特徴は，効用理論に基づいて生活行動モデルを構築する際に問題となった離散選択と連続選択の双方を同時に内生化する方法論の開発，ならびに，選択肢集合が極めて大きなものとなる，という2つの課題点を回避しつつ，効率的に生活パターンを生成していくことが可能な点である．ただし，上述の効用理論に基づいた生活行動モデルでは考慮することが可能であった活動時間，場所，交通機関といった種々の生活パターンを規定する要素間のトレードオフを十分に考慮することができない，という問題点が存在する．この問題点は，実際の個人が生活パターンを決定する際には，モデルシステムの構築時に先験的に設定した機関選択行動，目的地選択といった局面ごとに意思決定を行っている訳では必ずしもない，実際の個人はそれぞれのトリップの交通機関やそれぞれの活動の場所，時間といった様々な要素を総合的に考慮しつつ意思決定を行っているのである，ということに起因するものであると考えられる．すなわち，個々の要素間の相互作用，および，トレードオフを考慮しつつ，生活行動についての意思決定プロセスを表現する場合，複数の行動モデルを組み合わせで表現するよりは，簡素な意思決定プロセスを仮定する効用最大化理論の方が適切であるものと考えられる．ただし，先述のように，後者のアプローチで生活パターンを生成することは，その選択肢

集合が極めて大きくなることから容易ではなく、前者のモデルシステムを用いるアプローチの方が計算コストの観点から容易であるものと考えられる。

2.3 本研究での研究の方針

本研究では、交通システムのサービスレベルの向上によって交通需要は誘発されるのか、複雑な生活行動の意思決定をどのようにモデル化するのか、そして、個人の生活の質を考慮した政策指標としてどのようなものが開発できるのか、という3点に検討を加えることを目的としている。そこで、本研究では、本章概観した従来の activity-based approach に基づいた研究の流れを踏まえて、以下の様な分析を加えることとする。

まず、本研究では、個々の変数間の共分散関係を直接的、かつ、統計的に分析できることができる、構造方程式モデルの枠組みで、個人の生活パターンを再現するモデルシステムを構築することを目指す。この分析では、個人の生活行動パターンを、トリップ頻度や内容別の活動時間などのいくつかの変数で定量的に表現し、それらの変数を内生変数とし、その一方で、交通サービスレベルや個人属性などを外生変数として、それらの間の相関関係を把握する。そして、交通サービスレベルとトリップ頻度等の交通需要についての指標間の因果関係を把握することから、誘発需要について統計的な検討を加える。この分析については、第四章にて述べる。

ただし、構造方程式モデルでは、目的地や交通機関選択といった離散的な選択問題を内生化することが困難であることから、トリップ頻度や活動時間といった、個人の生活パターンについての限られた要素を再現することしかできない。したがって、種々の政策を実行した場合、その政策が個人に及ぼす影響を総合的に検討することができない。この問題点に対処するために、個人の生活行動における活動時間、内容、場所、交通機関といった様々な要素を、種々の行動モデルを組み合わせさせて再現するモデルシステムの構築を図る。このモデルシステムについては、第五章にて述べる。

一方、このように種々のサブモデルを組み合わせた上で、個人の生活パターンを生成するモデルシステムでは、活動時間、場所、交通機関といった種々の生活パターンを規定する要素間のトレードオフを十分に考慮することができない、といった問題点が存在する。このトレードオフをモデル上で的確に再現する理論的な枠組みとしては、効用最大化の枠組みを適用する方法が考えられる。また、効用理論の枠組みで生活行動モデルを構築した場合には、個人の行動原理を明示的に考慮した上で個人の生活行動を再現できる、という長所を持つということに加えて、各個人のある状況下での期待生活効用を算定できることもその長所であるものと考えられる。この期待生活効用は、個人の生活の質についての一指標として捉えることができるものと考えられ、個人の生活の質を視野に入れた政策評価を行う際の評価指標として活用できるものと期待される。このように、効用理論に基づいて個人の生活パターンを再現する方法論にはいくつかの長所が挙げられるのだが、生活パターンの選択集合が極めて大きなものであることが、

効用理論に基づいた生活行動モデルを構築する際の大きな障害として存在している。すなわち、生活パターンの選択肢集合が極めて大きいために、効用関数内のパラメータ推定、最大の効用を与える生活パターンの検出、ならびに、期待生活効用の算定といったいずれもが極めて困難となることが予想されるのである。これに加えて、離散的な選択問題と連続的な選択問題をどのような形で同時的に取り扱うのかといった方法論的な課題点も挙げられる。

そこで、本研究では、効用理論に基づいて生活行動モデルを構築するための初期的な試みとして、生活パターンの選択肢集合を予め設定し、その中からの選択データをとるといった Stated Preference (以下、SP) 調査³³⁾形式で得られたデータを用いることで、効用関数内のパラメータを推定した。そして、これを仮想的な状況を設定した個人に対して適用して、期待生活効用、ならびに、各選択肢の選択確率を算定した。これらの作業を通じて、生活効用とその要因についての関係、あるいは、効用理論に基づいた生活行動モデルの適用方法についての基礎的な検討を加えた。この検討結果については、第六章にて述べる。

さらに、この第六章での検討結果を踏まえて、個人の生活行動を効用理論に基づいて実際に再現する生活行動シミュレーションを第七章で、そして、個人の生活行動における期待生活効用を算定する方法論を第八章でそれぞれ述べる。なお、第九章では、これらの分析の結果得られた知見を総括すると共に、今後の課題をまとめる。

第二章 参考文献

- 1) Hemmens, G.C: Analysis and Simulation of Urban Activity Patterns, *Socio-Econometrics Planning Science*, Vol. 4, pp.53-66, 1970.
- 2) Hagerstrand, T.: What about People in Regional Science? *Papers of the Regional Science Association*, **23**, pp. 7-21, 1970.
- 3) Kitamura R., J.P. Robinson, T.F. Golob, M.A. Bradley, J. Leonard, T. van der Hoorn: A comparative analysis of time use data in the Netherlands and California, In Proceedings of Seminar E, *PTRC 20th Summer Annual Meeting*, PTRC Education and Research Services, Ltd., London, pp. 127-138, 1992.
- 4) 黒川 洸, 石田 東生, 田村 享: 自動車所有の進展がもたらす大都市近郊における交通行動変容の総合的解明, 平成 3・4 年度科学研究費補助金 (一般 B) 研究成果報告書, 課題番号:03451084, pp. 40-53, 1993.
- 5) 瀬戸 公平, 北村 隆一, 飯田 克弘: 構造方程式を用いた活動実行時点・活動時間・トリップ距離間の因果関係の分析, 土木計画学研究・講演集, No. 17, pp. 209-212, 1995.
- 6) 藤井 聡・北村 隆一・瀬戸 公平: 生活行動に伴う個人の効用を考慮した生活行動 交通行動モデルシステムの開発, 土木学会論文集, No. 562/IV-35, pp. 83-96, 1997.
- 7) Becker, G.: A Theory of the Allocation of Time, *Economic Journal*, **75**, pp. 493-517, 1965..
- 8) De Serpa, A.: A Theory of the Economics of Time, *The Economic Journal*, **81**, pp. 828-846, 1971.
- 9) Evans, A.: On the Theory of the Valuation and Allocation of Time, *Scottish Journal of Political Economy*, **2**, pp. 1-17, 1971.
- 10) Kitamura, R.: A Model of Daily Time Allocation to Discretionary Out-of-home Activities and Trips, *Transportation Research*, **18B**, pp. 255-266, 1984.
- 11) Supernak, J.: Temporal Utility Property of Activities and Travel, Uncertainty and Decision Making, *Transportation Research*, **26B**, pp. 61-76, 1992.
- 12) Kraan, M.: Modelling Activity Patterns with Respect to Limited Time and Money Budgets, In D. Hensher, J. King and T. Oum (eds.), *World Transport Research, Proceedings of the 7th World Conference on Transportation Research, Vol 1, Travel Behavior*, Elsevier Science, Oxford, pp. 151-164, 1996.
- 13) Kitamura, R., T. Yamamoto, S. Fujii and S. Sampath, A discrete-continuous analysis of time allocation to two types of discretionary activities which accounts for unobserved heterogeneity, In J.B. Lesort (ed.) *Transportation and Traffic Theory*, Elsevier Science, Oxford, pp. 431-453, 1996.
- 14) Jara-Diaz, S.R.: General Micro-Model of User's Behaviour: The Basic Issues. Paper presented at the Seventh International Conference on Travel Behaviour, Valle Nevado, Santiago, Chile, 1994.
- 15) Ben-Akiva, M. and S.R. Lerman: *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1985.
- 16) Adler T. and Ben-Akiva, M.: A Theoretical and Empirical Model of Trip Chaining Behavior, *Transportation Research*, **13B**, No. 3, pp. 243-257, 1979.

- 17) Recker, W.W., M.G. McNally and G.S. Root: A Model of Complex Travel Behavior. Part 1: Theoretical Development, *Transportation Research*, **20A**, pp. 307-318, 1986.
- 18) Recker, W.W., M.G. McNally and G.S. Root: A Model of Complex Travel Behavior. Part 2: An Operational Model, *Transportation Research*, **20A**, pp. 319-330, 1986.
- 19) 河上省吾, 磯部友彦, 仙石忠広: 時間制約を考慮した 1 日の交通・活動スケジュール決定プロセスのモデル化, *土木計画学研究・論文集*, No. 4, pp. 189-196, 1986.
- 20) Ben-Akiva, M. and J. Bowman: An Activity Based Disaggregate Travel Demand Model System with Daily Activity Schedules, *Transportation Research*.(forthcoming)
- 21) Damm, D.: Parameters of Activity Behavior for Use in Travel Analysis; *Transportation Research A*, Vol. 16, No. 2, pp. 135-148, 1982.
- 22) Hamed, M.M and F.L. Mannering: Modeling Travelers' Postwork Activity Involvement: Toward A New Methodology, *Transportation Science*, Vol. 27. No. 4, pp. 381-394, 1993.
- 23) Axhausen K. W. and R. Herz, Simulating Activity Chains: German Approach, *Journal of Transportation Engineering*, **12**, pp. 324-341, 1989.
- 24) Kitamura, R. and M. Kermanshah: Identifying Time and History Dependencies of Activity Choice, *Transportation Research Record*, **944**, pp. 22-30, 1983.
- 25) Kitamura, R. and M. Kermanshah: Sequential Model of Interdependent Activity and Destination Choices, *Transportation Research Record*, **987**, pp. 81-89, 1984.
- 26) Kondo, K.: Estimation of Person Trip Pattern and Modal Split, In D.J. Buckley (ed.) *Transportation and Traffic Theory*, pp. 715-742, Reed, Sydney, 1974.
- 27) Kitamura, R. and Lam, T.N.: A Time Dependent Markov Renewal model of Trip Chaining, In V.F. Hurdle, E. Hauer, and G.N. Steuart (eds.) *Transportation and Traffic Theory*, University of Toronto Press, Toronto, pp. 376-402, 1983.
- 28) Kitamura, R.: Sequential History-Dependent Approach to Trip-Chaining Behavior, *Transportation Research Record*, **944**, p. 13-22, 1984.
- 29) 近藤勝直: 交通行動分析, 晃洋書房, pp. 34-41, 1987.
- 30) Garling, T., K. Brannas, J. Garvill, R.G. Golledge, S. Gopal, E. Holm and E. Lindberg: Household Activity Scheduling. Paper presented at the Fifth World Conference on Transport Research, Yokohama, 1989.
- 31) Ettema, D., A. Borgers and H. Timmermans, SMASH (Simulation Model of Activity Scheduling Heuristics): Some Simulations, *Transportation Research Record*, **1551**, pp. 88-94, 1996.
- 32) Kitamura, R., Pendyala, R.M., Pas, E.I.: Application of AMOS, An Activity-Based TCM Evaluation Tool to the Washington, D.C., Metropolitan Area, *Proceedings of Seminar E held at the PTRC European Transport Forum*, Vol. P392, pp. 177-190, 1995.
- 33) Pearmain D., Swanson, J., Kores, E. and Bradley, M.: Stated Preference Techniques - A Guide to Practice, Streer Davies Glave and Hauge Consulting Groupe, 1991.

第三章 生活行動を考慮した交通解析のための基礎データについて

前章では、個人の生活行動を考慮した上で交通行動を解析する方法論について述べたが、実用的な交通需要解析のためのモデル、ならびに、個人の生活行動、および、個人の生活の質を考慮した信頼性のある交通政策評価指標の開発を目指す場合、当然ながら方法論についての議論に終始してはその目的を達成することはできない。すなわち、本研究の目的である、個人の生活行動を考慮した交通需要解析方法、ならびに、政策評価評価手法の構築を図るためには、前章で述べたような方法論についての議論に加えて、その目的を達成するために必要なデータについての議論が不可欠である。本章では、本研究で用いるデータについて述べる。

3.1 トリップダイアリーデータからアクティビティダイアリーデータへ

第一章で述べたように、従来、個人が実行する個々の交通行動に焦点をあてた交通解析、すなわち、trip-based approach が主流であった。この点から、交通解析において必要とされる個人の行動についての情報は、個人の交通行動に限定されたものとなっていた。それに伴って、パーソントリップ調査に代表されるトリップダイアリー調査や、ある特定のトリップについての調査等が実施されてきた。

しかし、個人の生活行動に着目した activity-based approach に基づいた交通解析を行う場合、個人のトリップのみに着目した調査から得られるデータでは、不十分である。したがって、本研究のように、activity-based approach に基づいた分析を目指す場合、個人の交通行動に加えて個人の生活行動についてのデータを収集する調査、すなわち、アクティビティダイアリー調査（以下、これを単にダイアリー調査と呼ぶこととする）を実施することが求められるのである。

ダイアリー調査は、通常のパーソントリップ調査と異なり、調査対象日の移動・交通を含む全ての活動についての質問の回答を要請するものである。初期的なダイアリー調査に基づいた研究として、Szalai の研究が挙げられる¹⁾。この研究では、12 カ国から約 28000 サンプルが収集され、個人の時間利用形態の国家間の比較分析が行われた。それ以後、欧米諸国では幾度となくダイアリー調査が実施されており²⁾、様々な国家間でのダイアリーデータに基づく比較分析が行われてきている。例えば、RDC³⁾、Kitamura⁴⁾らは、オランダ、カリフォルニア、AT&T による全米の 3 種類のダイアリーデータを用いて、個人の 1 日の各種活動の平均活動時間等に関する分析、および比較研究を行っている。また、大塚ら⁵⁾は、阪神地区を対象としたダイアリー調査データと、RDC、Kitamura らのデータの双方を用いて同様の分析を行っている。

我が国における代表的なダイアリー調査としては、総務庁による社会生活基本調査⁶⁾、NHK による国民生活時間調査⁷⁾などが挙げられる。これらの調査はそれぞれ定期的に行われているものであり、それぞれで得られたデータに基づいて、時間利用形態の地域間比較分析、個人属性

別比較分析，経年変化分析などの様々な定性的な分析が加えられている．

この様に，個人の活動に焦点をあてたダイアリー調査に基づいて，生活時間利用状態についての国家間比較や経年変化などが分析されてきているが，ダイアリー調査は，生活時間の利用状況のみに着目した生活時間調査として活用できるだけではない．活動場所の分布に着目することで生活行動圏調査として，コミュニティ施設に着目することで施設利用圏調査として，交通行動に着目することでパーソントリップ調査として活用することが可能であり，様々な目的に適用できる応用範囲の広い調査である⁸⁾．これは，ダイアリー調査で収集される情報が極めて多岐にわたることを意味している．

特に，交通計画の分野では，通常のトリップ調査では，回答者が見逃していた様な短いトリップを捉えることができる等，トリップ調査として有効であるものと見なされている^{8),9),10)}．原田らは，ダイアリー調査を用いたトリップ調査の特徴を以下のようにまとめている¹¹⁾．

- 1．従来のトリップ調査に比べて，連続的な記録により記入もれを防止し，記録の整合性を維持できるため交通行動をよりの確に捉えうる．
- 2．移動に対する場所，時刻，世帯内での相互関係による制約など，従来の調査では捉えにくい要因を検討することができる．
- 3．数日間の活動記録が可能であり，従来無視されていた，個人内での日変動を検討することができる．
- 4．交通行動をよりの確に捉えた結果を用いることにより，1日のトリップ調査では困難であったライフサイクルと交通行動特性との関係等を明らかにできる可能性がある．

このように，ダイアリー調査は，交通行動以外の個人の活動についての情報を収集できるといった長所を持つだけでなく，情報を収集する上で上記の様な種々の利点を持つ調査手法であるといえるのである．

しかし，ダイアリー調査は記入の量が多いこと，回答方法が複雑であることなどから回答者に与える負担が大きく，十分なサンプル数の正確な回答を得ることが困難であるという問題点がある．したがって，調査の実施にあたっては，分析上必要である質問項目を，できるだけ容易に回答できるような形式で調査設計を行うことが不可欠である．

3.2 ダイアリー調査の概要

個人の生活行動を考慮した交通解析を目指す本研究では，前節で述べた個人の生活行動に着目したダイアリーデータを用いることが不可欠である．本研究では，1994年に全線が供用された阪神高速道路湾岸線の供用効果を把握することを目的として，1993年，1994年にそれぞれ第一回調査，第二回調査（以下，それぞれ Wave 1, Wave 2 と呼ぶ）が実施され，それ以後 1996

年まで合計 4 回にわたって実施されたパネル調査の一部として得られているダイアリーデータを用いることとした。なお、以下では、このパネル調査を大阪湾岸パネル調査と呼ぶこととする。

パネル調査の実施に先立ち、調査費用の削減を目的として予備調査を実施した。予備調査では、設問項目の少ない調査票を大阪湾岸地域の居住者を中心として抽出した 7,000 世帯に各世帯に 2 枚ずつ合計 14,000 枚を郵送で、湾岸線競合路線利用者の 10,500 人に対して路側で手渡し配付した。その結果、世帯に配布した 14,000 枚のうち 18.2% の 2,550 枚が、競合路線利用者に配布した 10,500 枚のうち、15.4% の 1,616 枚が回収された。そして、それ以降の各 Wave では、この予備調査で反応のあった 4,166 世帯に阪神高速道路のモニターの世帯を加えた集合を対象として調査を行った。ただし、各 Wave では、引越等によって追跡が不可能となった世帯、および、脱落を希望した世帯については、対象世帯とはしなかった。

表 3-1 には、大阪湾岸パネル調査の調査時点、および調査票配布、回収状況等を示す。表 3-1 に示した様に、Wave 1 と Wave 2 の間には阪神高速道路湾岸線が全線供用され、Wave 2 と Wave 3 との間では阪神淡路大震災が生じた。そして、Wave 3 と Wave 4 の間では、震災によって分断された高速道路網が全線復旧されている。大阪湾岸パネルは、これらの各々のイベントが個人の生活行動、交通行動に及ぼした影響を把握することを主たる目的として実施されたものである。

調査項目としては、いずれの Wave においても、利用する交通機関の変化を把握することを目的とした home-based のトリップ調査項目、活動圏域の拡がりの変化を把握することを目的として生活圈調査項目、そして、被験者の生活行動形態の変化を把握することを目的としたダイ

表 3-1 大阪湾岸パネルの概要

event	Wave 1	湾岸線全線供用	Wave 2	阪神・淡路大震災	Wave 3	阪神高速道路全線復旧	Wave 4
時点	1993.11	1994.4	1994.11	1995.1	1995.6	1996.9	1996.11
配布世帯(世帯)	4,450		3,776		3,489		3,170
回収世帯(世帯)	1,714		706		526		412
回収率 (回収世帯/配布世帯)	38.5%		18.7%		15.1%		13.0%
一世帯あたりの個人票配布枚数(枚)	2		4		4		4
回収人数(人)	1,714		1,257		916		660

アリー調査項目が、それぞれ設定された。また、これらの調査に加えて、それぞれの Wave で、地域イメージについての調査や、活動についての選考意識調査など、いくつかの Wave 固有の調査も実施されている。

ここで、各 Wave で実施されたダイアリー調査票を付録 1、付録 2、付録 3、付録 4 にそれぞれ示す。また、表 3-2 には、各 Wave における調査内容を示した。

Wave 1 におけるダイアリー調査では、付録 1 に示したように、一つの活動について記入した後に、次の活動について記入するという形で複数ページにわたってダイアリー調査を設計した。また、一つの場所で複数の活動を実行した場合には、それらの個々の活動についての情報も逐一記入してもらうという形で設計した。しかし、この調査票を回収した結果、白紙回答が極めて多いことが分かった。回収調査票 1,714 枚のうち有効回答数は 285 枚に過ぎず、有効回答率は 16.6% という極めて低い水準にとどまった。この原因としては、回答欄が複数ページにわたり非常に煩雑な調査であるとの印象を与えたこと、時間軸を調査票に記載しなかったことで回答方法を直感的に理解することが困難であったこと、一つの活動について記入すべき内容が多かったこと、等が考えられた。これらの反省点をふまえ、また、既存の総務庁や NHK などの調査表を参考にして、Wave 2 では以下の点に配慮しつつダイアリー調査票を設計した。

1. 記入量の多さに対する忌避感を軽減するために、回答用紙を見開き 1 ページに収め、回答

表 3-2 各 Wave におけるダイアリー調査の内容

質問項目	Wave 1	Wave 2	Wave 3	Wave 4
活動 場所（地理的位置） について 場所（施設） 内容 開始時刻 終了時刻 同伴者種類 場所の固定性 ^{*1} 時間帯の固定性 ^{*2} 活動実行の固定性 ^{*3} 活動実行の予定性 ^{*4} 活動の快適さ ^{*5} 活動実行の時間的余裕 ^{*6} 同伴者を決定した時期 ^{*7}	 × × × ×	 × × × × × ×	 × × × × × ×	 × × × × × ×
移動 交通機関 について 出発時刻 到着時刻 移動時間 同伴者人数 同伴者種類	 × × ×	 × × × ×	 × × ×	 × × ×

：設定されている項目，×：設定されていない項目

*1 「この場所でなければいけませんでしたか？」と各活動について質問

*2 「この時間でなければいけませんでしたか？」と各活動について質問

*3 「この活動は絶対必要でしたか？」と各活動について質問

*4 「この活動をする予定はありましたか？」と各活動について質問

*5 「この活動の快適さは？」と各活動について質問

*6 「活動の時間的余裕は？」と各活動について質問

*7 「その方ということを決めましたか？」と各活動について質問

の具体例を添付して、回答者が具体例を見ながらより容易に回答できるものとした。

2. 回答用紙（付録 2）の記入欄Ⅰに時間軸上に滞在した場所、行った移動とそれらの時間を、記入欄Ⅱに個々の場所での活動と移動の詳細について記入する形式とした。この形式にすることで、Wave 1 の調査票の様に段階を踏まずに個々の活動についての詳細な情報を想起させるのではなく、回答者にまず大まかな一日の活動パターンを想起させた後に、個々の場所での活動についての詳細な情報を想起させる、という段階的な形で、違和感無く個々の活動についての詳細な情報を抽出することを目指した。また、調査票からのデータ作成の際に両記入欄の整合性からチェックを行えるようにした。
3. 活動内容を選択する際の回答者の混乱を防ぐために、各活動内容について具体例を示してより定義を明確にし、回答を容易にすることを試みた。
4. 一つの活動についての質問項目を吟味し、必要最低限のものに削減した。

これらによって、回答のし易さの向上を図ると共に、

5. 「通勤途中に読書した」など、移動中の活動についても記入させるようにした。
6. 「テレビを観ながら、食事した」など、複数の活動を同時に実行する場合についても記入させるようにした。

という点も考慮して、調査票を設計した(付録2参照)。その結果、Wave 2 では回収調査票 1,257 枚中、65.6%の 825 枚が有効回答票であった。有効回答率は、Wave 1 のダイアリー調査の実に約 4 倍にもなった。それ以後、Wave 3, Wave 4 においても、付録 3, 付録 4 に示した様にほぼ同様のダイアリー調査票で調査を実施した。

本研究では、以上のような形で実施されたダイアリー調査から得られたデータを用いて次章以降の分析を行う。なお、各々の分析では、ダイアリーデータ以外のデータも用いている場合もあるが、それらのデータについてはそれぞれの分析を述べる時点で説明する。

第三章 参考文献

- 1) Szalai, A. (ed.) *The Use of Time*. Mouton, The Hague, 1972.
- 2) Kitamura, R., E.I. Pas and S. Fujii: Time use data for travel demand analysis: Toward the next generation of transportation planning methodologies, prepared for 19th International Association of Time Use Research, Stockholm, Sweden, 1997.
- 3) RDC, The Transportation Futures Group: Further comparative analysis of daily activity and travel patterns & development of a time-activity-based traveler benefit measure, 1993.
- 4) Kitamura R., J.P. Robinson, T.F. Golob, M.A. Bradley, J. Leonard, T. van der Hoorn: A comparative analysis of time use data in the Netherlands and California, In Proceedings of Seminar E, *PTRC 20th Summer Annual Meeting*, PTRC Education and Research Services, Ltd., London, pp. 127-138, 1992.
- 5) 大塚祐一郎，瀬戸公平，飯田克弘，北村隆一：個人の時間利用特性に関する分析 日本，アメリカ，オランダのデータに基づく比較，平成 6 年度関西支部年次学術講演概要，土木学会関西支部，IV-53，1994．
- 6) 総務庁統計局：国民の生活行動 昭和 61 年社会生活基本調査の解説，財団法人日本統計協会，1988.
- 7) NHK 放送文化研究所：1990 年度国民生活時間調査 全国時間量編，日本放送出版協会，1991.
- 8) 太田勝敏：何故，いま「交通データ収集分析の最近の動向」なのか？，交通工学，Vol. 23，増刊号，pp. 3-10，1988.
- 9) 杉恵頼寧：交通行動調査の開発と適用（その 2）アクティビティ・ダイアリー調査，交通工学，Vol.23，増刊号，pp.71-79，1988.
- 10) 杉恵頼寧，藤原章正，末永勝久：活動日誌を用いた交通調査の有効性，第 23 回日本都市計画学会学術講演論文集，pp. 409-414，1988.
- 11) 原田昇，太田勝敏：生活活動記録に基づく個人の活動分析に関する研究，第 23 回日本都市計画学会学術講演論文集，pp. 415-420，1988.

第四章 構造方程式モデルに基づく就業者の行動モデルを用いた誘発需要に関する分析^{1), 2)}

4.1 序言

本章では、個人の生活行動を考慮した上で交通需要解析を図ることを目的とした生活行動モデルを構築するはじめの試みとして、線形構造方程式モデルの枠組みを用いて個人の生活パターンを再現するモデルシステムの構築を目指す。ここで、構造方程式モデルを生活行動モデルの枠組みとして適用することの長所は、モデル構築の過程で個々の変数間の共分散関係を直接的、かつ、統計的に分析できること、ならびに、構築されたモデルシステムを用いて、比較的簡素な計算で政策評価分析を行うことができる点である。その一方で、目的地選択等の多項選択問題を取り扱うことが困難である点、ならびに、行動論的な基盤が欠落している点が、構造方程式モデルに基づいた生活行動モデルの短所として挙げられる。すなわち、本章での分析は、考慮することのできる内生変数が限られたものとはなるものの、簡素な計算で政策評価分析を行うことのできる実用的な生活行動モデルシステムを構築することを目的とするものである。特に、ここでは、交通サービスレベルについての変数を外生変数、トリップ頻度といった交通需要についての基礎指標を内生変数に含んだ形で定式化し、これらの変数間の統計的な関係を構造方程式モデルを構築する過程を通じて把握し、その結果から誘発需要についての基礎的な考察を加えることを、本章における重要な目的の一つとして考えることとする。

なお、本章で示す分析では、都市交通における主要なトリップメイカーである就業者を分析の対象とすることとした。そして、就業者の活動パターンを帰宅前及び帰宅後のトリップ数、移動時間といった交通行動の特性を示す指標、ならびに在宅時間、外出時間といった生活活動に関する指標によって表現する。そして、これらの指標間の相関関係を考慮した上で内生化したモデルシステムを構築する。本研究では、このモデルシステムを「就業者行動モデル」と呼ぶこととする。

一方、それぞれの個人が実行する活動パターンは、その個人の心理的な要因にも影響を受けているものと考えられる。例えば、宅外での自由時間の活動を好む個人、宅内での自由活動を好む個人によって、活動パターンは異なるものと考えられる。そこで、各個人の活動に対する選好の差異を内生化したモデルを構築する。このモデルを「選好水準モデル」と呼ぶこととする。そして、推定された選好水準を就業者行動モデルの外生変数として扱うことにより、心理的要因を考慮した行動モデルの開発を目指す。

また、モデルを構築するために用いるデータとしては、第三章で述べた大阪湾岸パネル調査における、1994年に収集されたダイアリーデータを採用した。それに加えて、同アンケート調査から得られる個人属性、世帯属性、ならびに、それぞれの活動（睡眠、休息、交際・訪問、日常的な買い物、娯楽としての買い物、食事、趣味・娯楽、移動、通勤・通学の9活動）に対する選好の程度の5段階主観的評価データを用いた。

本章では，以上の枠組みに基づいて，勤務条件や交通整備水準等の個人の時空間的な制約条件が変動した場合における，活動パターンの変化の予測が可能なモデルシステムを提案する．そして最後に，通勤時間，勤務時間帯に対する就業者の活動パターンの感度分析を行う．

4.2 選好水準モデル

本章では，アンケートより得られるそれぞれの活動に対する主観的評価値，及び個人属性，世帯属性等の客観的な説明変数に基づいて，活動パターンに影響を及ぼす心理的要因を推定するための選好水準モデルを提案する．その際，就業者行動モデルと同様に，構造方程式モデルを用いることとする．選好水準モデルにおける構造方程式，測定方程式を以下に示す．

構造方程式

$$\eta = \mathbf{B}_1\eta + \Gamma_1x_1 + \zeta \quad (4-1)$$

$$y^* = \Lambda_y\eta + \varepsilon \quad (4-2)$$

測定方程式

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{if } y_j^* < \alpha_{j1} \\ 2 & \text{if } \alpha_{j1} \leq y_j^* < \alpha_{j2} \\ 3 & \text{if } \alpha_{j2} \leq y_j^* < \alpha_{j3} \\ 4 & \text{if } \alpha_{j3} \leq y_j^* < \alpha_{j4} \\ 5 & \text{if } \alpha_{j4} \leq y_j^* \end{cases} \quad (\forall j) \quad (4-3)$$

ここに，

y_j : 活動 j に対する 5 段階の主観的評価値

y_j^* : y_j を規定する選好水準（潜在変数）

y^* : y_j^* を要素とする選好水準ベクトル

η : 潜在変数ベクトル

x_1 : 外生変数ベクトル

ζ, ε : 多変量正規分布に従う誤差項ベクトル

$\mathbf{B}_1, \Gamma_1, \Lambda_y$: 未知パラメータ行列

$\alpha_{j1} \sim \alpha_{j4}$: 活動 j についてのしきい値

ここで， y_j としては，4.1 で述べた各活動に対する選好の程度の 5 段階主観的評価値を， x_1 としては個人属性，世帯属性を用いた．潜在変数ベクトル η の要素については，主観的評価値につ

いての因子分析を行うことで特定化した。因子分析の結果からは、交際訪問、日常的な買い物、娯楽としての買い物等の主観的評価値の因子負荷量が大きな因子と、睡眠、休息の主観的評価値の因子負荷量が大きな因子の2つが主要な因子として抽出されたため、 η の要素として「宅外での活動に対する選好の程度、 η_{out} 」と「宅内での活動に対する選好の程度、 η_{home} 」の2つに特定化した。そして上記のモデルを重み付き最小二乗法で推定^[1]した結果を表4-1に示す。なお B_1 については、非対角要素を推定した場合、0 行列に固定した場合の双方において Γ_1 , Λ_{η} 等の未知パラメータを推定し、AGFI^[2]に基づいて比較した結果、0 行列に固定した方が良好な適合度が得られた。そこで、表4-1には B_1 を0 行列に固定した場合の推定結果を示した。また、睡眠、休息の評価値を1および5と回答した個人数、および、趣味・娯楽の評価値を1と回答した個人がそれぞれ少なく、しきい値 α_1 and/or α_4 を推定することが困難であったため、評価値1 and/or 5を評価値2 and/or 4と同一カテゴリーとして扱って α_2 , α_3 (or α_2 , α_3 , α_4) のみを推定した。

表4-1より、 χ^2 値^[2]は大きな値を取っており、構築されたモデルが正しいとの帰無仮説が棄却される結果となったが、一般にサンプル数が大きい場合には検定力が非常に強くなり、 χ^2 値が大きくなる傾向にあることが知られている。今回の推定結果ではサンプル数が1,117と大きいため、この結果から一概に本モデルを棄却できない。一方で、GFI、AGFI^[2]は良好な値を示していることから、モデル全体の適合度については良好なものが得られたものと考えられる。さらに、各内生変数の重相関係数に着目すると、移動については0.067、通勤通学は0.59となったが、それ以外では0.70~0.98と高い水準となった。また、 η_{out} , η_{home} の重相関係数は0.22, 0.14と必ずしも良好な値とはいえないが、外生変数 x_j のほとんどについて有意なパラメータが推定されており、心理的要因への外生変数の影響はモデル化できたものと考えられる。

また、後述する様に、就業者行動モデルでは η_{out} , η_{home} を説明変数として用いる。就業者行動モデルのパラメータを推定する際、 η_{out} , η_{home} の重相関係数が低い水準であるにも関わらず、就業者の行動に有意に影響を及ぼしていることが示されれば、就業者の行動に心理的要因が影響を及ぼしていることが統計的に示される。このことが示されれば、就業者の行動を考慮した交通政策を実施する場合には、個々人の心理的要因を考慮する必要があることを示すこととなる。なお、 η_{out} , η_{home} が就業者の行動に及ぼす影響については、就業者行動モデルのパラメータ推定結果を考察する際に述べることとする。

表 4-1 選好水準モデルの推定結果

Λ_y の推定結果			の推定結果				共分散	
	η_{out}	η_{home}	重相関係数	1	2	3	4	η_{active} と η_{home} の誤差項の共分散 $cov(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = 0.58$ 睡眠と休息の誤差項の共分散 $cov(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = 0.059$ 睡眠と食事の誤差項の共分散 $cov(\varepsilon_1, \varepsilon_6) = 0.11$ 休息と食事の誤差項の共分散 $cov(\varepsilon_2, \varepsilon_6) = 0.054$ 休息と趣味・娯楽の誤差項の共分散 $cov(\varepsilon_2, \varepsilon_7) = -0.048$ 交際訪問と趣味娯楽の誤差項の共分散 $cov(\varepsilon_3, \varepsilon_7) = 0.098$ 娯楽としての買い物と趣味娯楽の誤差項の共分散 $cov(\varepsilon_5, \varepsilon_7) = 0.027$ 娯楽としての買い物と移動の誤差項の共分散 $cov(\varepsilon_5, \varepsilon_8) = -0.092$ 娯楽としての買い物と通勤通学の誤差項の共分散 $cov(\varepsilon_5, \varepsilon_9) = -0.077$
睡眠		1.00 *	0.77		-2.14	-0.55		
休息		1.10	0.93		-2.37	-0.14		
交際・訪問	1.00 *	[57.83]	0.75	-1.96	-1.34	-0.26	0.66	
日常的な買い物	0.97		0.70	-2.08	-1.41	-0.25	0.74	
娯楽としての買い物	[42.98]		0.98	-2.24	-1.90	-0.76	0.22	
食事	1.14		0.98	-2.91	-2.10	-0.91	-0.044	
趣味・娯楽	[38.44]	1.13	0.91		-2.69	-1.28	-0.12	
移動	-0.33	[66.52]	0.067	-1.27	-0.49	0.96	1.64	
通勤・通学	[-2.70]	1.38	0.59	-1.04	-0.38	1.14	1.75	
		[11.14]						
		-0.30						
		[-7.30]						
		-0.87						
		[-15.18]						

*:各パラメータのスケールを固定するために、1.0に固定
[]内はt値

【説明変数の定義】
年齢、家族人数、保有者台数、配偶者、親人数、子供人数は連続変数
性別 1:男性 0:女性
学歴 1:短大・大学・専門学校 0:それ以外
個人収入 0:収入なし、1.5:300万円未満、4:300~500万円、6:500~700万円 8.5:700~1000万円、12:1000万円以上
車で通勤 1:車で通勤 0:それ以外

GFI	0.9898
AGFI	0.9784
χ^2 値 (df=99)	484.08
サンプル数	1117

	年齢	性別	学歴	収入	車で通勤	家族人数	保有車数	配偶者数	親人数	子供人数	重相関係数
η_{out}	-0.45	-0.17	0.049	0.086	-0.064		0.023	0.072	-0.14	0.029	0.22
	[-16.31]	[-6.82]	[2.52]	[3.16]	[-3.46]		[2.19]	[3.06]	[-5.17]	[1.70]	
η_{home}	-0.37	-0.06	0.055	0.127	-0.078	0.042		0.049	-0.15		0.14
	[-16.18]	[-2.87]	[3.30]	[5.68]	[-4.81]	[3.35]		[2.57]	[-6.50]		

表 4-1 より、 η_{out} の高い人ほど交際・訪問、日常的な買い物や娯楽としての買い物を好む傾向があることがわかる。一方、 η_{home} が高い人ほど睡眠、休息、食事、趣味・娯楽を好み、移動や通勤・通学を好まない傾向があることもわかる。 ε に着目すると η_{out} と η_{home} に対する誤差項の共分散は正になった。また、 x_i において η_{out} 、 η_{home} の双方に影響を及ぼす変数のパラメータの符号は双方同じとなっていることがわかる。これらは各々の活動に対する主観的評価値の間に強い正の相関がある、すなわち、全般に高い評価値を各活動に与える個人、あるいは、全般に低い評価値を値を与える個人が多いためであると考えられる。

α の推定結果からは、全ての活動について α_2 と α_3 の間が他よりも大きいことが分かる。この結果は、主観的表価値 y_j とそれに対応する潜在変数 y_j^* とが非線形の関係にあることを示している。なお、この非線形性は森川らによっても指摘されている³⁾。また、移動、通勤通学 $\alpha_k(k=1, 2, 3, 4)$ と、食事、趣味娯楽のそれらとを比較すると、後者の方がいずれの k についても小さな値となっている。このことから後者の活動の方が高い主観的評価値を与えられる傾向にあることが分かる^[3]。日常的な買い物と娯楽としての買い物の α_k の推定値からは、前者より後者の方が高い評価値となる傾向にあることが分かる。以上より、妥当な閾値が推定されたと考えられる。

また、 Γ_i の推定結果より、高齢者ほど、男性ほど、あるいは、配偶者がいない独身ほど、宅内/宅外に関わらず活動に対する選好水準は低い傾向にあることが分かる。この結果は、各活動の選好水準が一律に高い(or 低い)個人が多く存在することを示すものと考えられる。ただし、パラメータの絶対値の違いから、高齢者、男性、独身者ほど、宅外の活動に比較して、宅

内の活動を相対的に好む傾向にあることが分かる。その他、 η_{out} は、自動車保有台数や子供の数が多いほど大きく、 η_{home} は家族が多いほど大きいこと等が分かる。

以上の推定結果に基づき η の期待値を推定し、これを次に述べる就業者行動モデルの説明変数に用いる。

4.3 就業者行動モデル

ここでは、就業者行動モデルを構築するにあたっての基本的な考え方を述べ、その考え方に基づいて構造方程式を定式化する。そして、ダイアリーデータに基づいた推定計算について述べる。

就業者が自由活動を実行する時間帯は、基本的に、起床から出勤までの時間帯と勤務終了から就寝までの時間帯、および昼休みの時間帯であると考えられる。しかし、昼休みの時間帯は勤務時間帯に前後を挟まれた限られた時間帯であり、かつ、大半の活動内容が食事である。したがって、一般には、昼休みは就業者にとって自由度が高い時間帯であるとは考え難い。一方、出勤前、勤務終了後の時間帯は、活動実行の有無、活動内容、活動時間等を就業者自ら変更することが可能であり、昼休みと比較して、活動パターンに関する自由度が高いものと考えられる。ここで、表 4-2 に、就業者の行動パターンをあらわす指標のサンプル平均を示す。表 4-2 より、起床から出勤までの時間帯において自由活動を実行している就業者は非常に限られている一方、勤務終了後の時間帯では、自由活動を実行する就業者は比較的多いことが分かる。これらより、就業者行動モデルを構築するにあたっては、就業者の勤務終了後の活動に着目し、以下のそれぞれの変数を内生変数とすることとした。

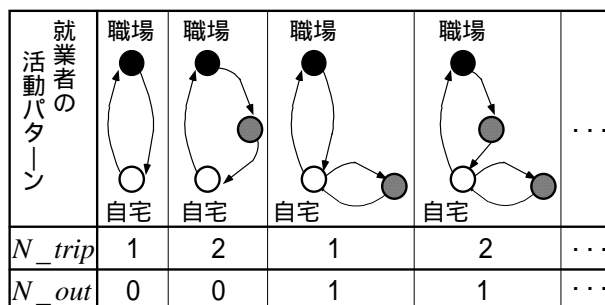
N_{trip}	: 勤務終了後から最初に帰宅するまでに行ったトリップ回数。
D_{out}	: 勤務終了後から最初に帰宅するまでに移動以外の活動で費やした時間。
$D_{ncommute}$: 勤務終了後から最初に帰宅するまでの通勤時間以外での移動時間の総和時間。すなわち帰宅前に寄り道をすることにより通勤時間以外に増える移動時間。
N_{out}	: 帰宅してから就寝までに自宅から外出した回数。
D_{home}	: 帰宅してから就寝までに自宅にいた時間の総和。

表 4-2 就業者の行動パターン

起床後、通勤のために最初に自宅から外出するまでに、自宅から自由活動で外出した回数の平均	0.02 回 (標準偏差: 0.14)
勤務終了後就寝までに自宅から自由活動で外出した回数の平均	0.09 回 (標準偏差: 0.29)
通勤のために自宅を最初に外出してから最初に職場に	1.07 回

到着するまでに行ったトリップ数の平均(通勤トリップを含む)	(標準偏差: 0.44)
勤務終了後最初の帰宅までに行ったトリップ数の平均(通勤トリップ含む)	1.34 回 (標準偏差: 0.60)

(サンプル数: 576 人)



注意： 就業者は出勤前に宅外での自由活動を実行しない，そして，一旦帰宅後に外出する場合は，ピストン型のトリップチェーンを形成するものと仮定した場合．

図 4-1 モデル内生変数と就業者活動パターンの対応関係

ここで，図 4-1 に，モデル内生変数 N_out ， N_trip と，就業者の活動パターンの関係を示す．なお，ここでは，就業者は出勤前に宅外で自由活動を実行しない，そして，一旦帰宅後に外出する場合は，ピストン型のトリップを実行すると仮定しているが，この仮定に反する就業者は，サンプルの 576 人中で合計 26 人(4.5%)に過ぎない．したがって， N_out と N_trip に基づいて，就業者の大半(95.5%)を特定化することができる．

この様に，先述の 5 つの指標を内生変数としたモデルシステムを構築することで，勤務条件等の変動による就業者の時間利用の変動に加えて，就業者の活動パターンの変動を，時間利用を考慮した上で予測することが可能となる．

なお，勤務終了後に就業者が実行する活動の時間に関しては， D_out ， $D_ncommute$ ， D_home 以外に「帰宅後，外出した場合の移動時間」「帰宅後，外出した場合の移動時間以外の宅外での活動時間」が考えられる．しかし，表 4-2 に示したように，帰宅後に自宅から外出した就業者は全体の 1 割にも満たないため，外出時の行動をあらゆる指標を複数内生化することは困難であると判断した．本章では，帰宅後の外出行動の指標としては，最も直接的に外出行動の有無を表現し，かつ，図 4-1 に示した様に活動パターンを特定化する際に必要となる N_out を内生化するにとどめた．また，各内生変数は，本章での解析に用いる大阪湾岸パネルの 1994 年度調査におけるダイアリーデータから就業者を抽出し，各就業者ごとに各活動の開始時刻/終了時刻と活動施設，各移動の出発時刻，到着時刻のデータを用いて求めた．外生変数 x_2 については，通勤時間，勤務開始/終了時刻，通勤交通機関を当日のダイアリーデータから，そして，フレックス制の導入，平均的残業時間，年齢を個人属性データから求めた．

ここで，各指標を内生化するにあたっては， N_out ， N_trip を離散変数として扱い， D_out ，

$D_ncommute$ を非負条件を考慮して 0 における左側打ち切り変数として扱う⁴⁾ .そして , 以下の
 ような測定方程式で定式化した .

測定方程式

$$N_trip = \begin{cases} 0 & \text{if } z_1^* < \theta_{11} \\ 1 & \text{if } \theta_{11} \leq z_1^* < \theta_{12} \\ 2 & \text{if } \theta_{12} \leq z_1^* < \theta_{13} \\ 3 & \text{if } \theta_{13} \leq z_1^* < \theta_{14} \\ \geq 4 & \text{if } \theta_{14} \leq z_1^* \end{cases} \quad (4-4)$$

$$D_out = \begin{cases} 0 & \text{if } z_2^* < 0 \\ z_2^* & \text{if } z_2^* \geq 0 \end{cases} \quad (4-5)$$

$$D_ncommute = \begin{cases} 0 & \text{if } z_3^* < 0 \\ z_3^* & \text{if } z_3^* \geq 0 \end{cases} \quad (4-6)$$

$$N_out = \begin{cases} 0 & \text{if } z_4^* < \theta_{41} \\ 1 & \text{if } \theta_{41} \leq z_4^* < \theta_{42} \\ \geq 2 & \text{if } \theta_{42} \leq z_4^* \end{cases} \quad (4-7)$$

$$D_home = z_5^* \quad (4-8)$$

ここに ,

$z_1^* \sim z_5^*$: 内生変数である $N_trip, D_out, D_ncommute, N_out, D_home$ のそれぞれに対応する
 潜在変数

θ_{ij} : 被説明変数 i の j 番目の閾値

一方 , 連続潜在変数 $z_1^* \sim z_5^*$ に関して , 以下の構造方程式を定式化する .

構造方程式

$$z^* = \mathbf{B}_2 z^* + \Gamma_2 x_2 + \varsigma \quad (4-9)$$

ここに ,

z^* : $z_m^* (m=1, 2, \dots, 5)$ を要素とする潜在変数ベクトル

x_2 : 個人属性・選好水準・勤務条件等の外生変数ベクトル

ζ : 誤差項ベクトル

B_2, Γ_2 : 未知パラメータ行列

以上の定式化に基づき、重み付最小二乗法で推定した^[2]結果を表 4-3 に示す。また、生活時間利用を考慮せずに、交通発生指標である N_{trip} , N_{out} のそれぞれを従属変数とする Ordered Probit モデルを推定した結果を表 4-4 に示す。ただし、表 4-4 においても測定方程式として式(4-4), (4-7)を仮定した。また、いずれの推定結果でも、有意と判断されなかったパラメータは 0.0 に固定した。

はじめに、表 4-3 と表 4-4 における外生変数の係数パラメータに着目すると、表 4-3 では有意であったパラメータが、表 4-4 では有意でなく、0.0 に固定されたパラメータがいくつか挙げられる。また、 N_{trip} , N_{out} の重相関係数は、表 4-4 ではそれぞれ 0.11, 0.35 と小さな値となっている一方、表 4-3 ではそれぞれ 0.27, 0.68 と大きくなっていることが分かる。すなわち、生活時間利用と交通発生指標間との相互作用を考慮した交通発生モデルを構築することで、個人間の交通発生量の分布を説明する能力が大きく向上することが分かった。

次に、表 4-3 の推定結果に関して述べる。 χ^2 値は、サンプル数が 527 と大きいにも関わらず、十分に小さな値をとっており、モデルは棄却されない。GFI, AGFI についても、双方とも 1 に近い値をとっており、データに十分適合している。

表4-3 就業者行動モデル推定結果

		被説明変数				
		N_trip	D_out	D_ncommute	N_out	D_home
Γ_2	通勤時間	-	-0.11 [-3.75]	-0.065 [-2.16]	-0.38 [-17.98]	-0.25 [-11.07]
	仕事開始時刻	0.023 [2.02]	0.078 [3.28]	-	-	0.10 [4.50]
	仕事終了時刻	-0.49 [-8.09]	-0.37 [-10.01]	-0.29 [-7.42]	-0.69 [-6.72]	-0.89 [-39.99]
	フレックス制 [*]	0.21 [9.94]	0.12 [3.33]	0.074 [2.18]	-	-
	残業時間 ^{**}	-	-	-	-0.089 [-6.88]	-
	年齢	-0.11 [-4.43]	-	-	-	-
	通勤で車使用	-0.0044	-	0.071	-0.055 [4.30]	-
	職場飲食店数 ^{***}	-	0.062 [2.28]	-	-	-
	η_{out}	-	-	0.071 [2.11]	0.40 [6.55]	-
	η_{home}	-	-	-	-0.17 [-3.19]	0.072 [3.10]
B_2	N_trip	-	-	-	-0.62 [-6.22]	-
	D_out	-	-	-	-	-0.37 [-6.7]
	D_ncommute	-	-	-	-	-0.059 [-1.62]
	N_out	-	-	-	-	-
	D_home	-	-	-	-	-
重相関係数		0.27	0.15	0.092	0.68	0.70

表4-4 Ordered Probit Model
による推定結果

	N_trip	N_out
通勤時間	-	-0.34 [-17.45]
仕事開始時刻	-	-
仕事終了時刻	-0.33 [-4.98]	-0.37 [-10.21]
フレックス制	-	-0.20 [-13.93]
残業時間	-	-0.084 [-5.44]
年齢	-0.11 [-2.05]	-
通勤で車使用	-	0.072 [3.72]
職場飲食店数	-	-
η_{out}	-	0.18 [6.39]
η_{home}	-	-
/		
重相関係数	0.11	0.35

共分散

N_tripとD_outの誤差項の共分散	$\text{COV}(\zeta_1, \zeta_2) = 0.64$	(0.81)
N_tripとD_ncommuteの誤差項の共分散	$\text{COV}(\zeta_1, \zeta_3) = 0.53$	(0.66)
D_outとD_ncommuteの誤差項の共分散	$\text{COV}(\zeta_2, \zeta_3) = 0.53$	(0.60)
N_outとD_homeの誤差項の共分散	$\text{COV}(\zeta_4, \zeta_5) = -0.28$	(-0.91)

GFI =0.9999
AGFI =0.9995
χ^2 値=30.07(df=28)
サンプル数 527

サンプル数 527

[]内はt値

^{*} :導入されていれば1, それ以外0
^{**} :平均的な残業時間
^{***} :職場の市区町村の飲食店数

内生変数に着目すると, N_{trip} , $D_{ncommute}$, D_{out} の勤務終了後から帰宅前の活動に関する3つの変数の誤差項間に強い正の共分散が推定された。特に N_{trip} と D_{out} の誤差相関は, 相関係数が0.81と極めて強いものとなった。これは, 各々の変数が「帰宅前の自由活動」という一つの事柄に対して, 異なった視点から設定された複数の指標であるためである。一方, 帰宅後の活動を表す2変数 N_{out} , D_{home} の誤差項間には負の共分散が存在することが分かる。その相関係数は-0.91と非常に高い。これは, 帰宅後の自由活動と在宅活動は, 帰宅時刻から就寝時刻までの時間を分け合って実行されるものだからである。 B_2 の推定結果からは, N_{trip} が増加すれば N_{out} は減少し, D_{out} , $D_{ncommute}$ が増加すれば D_{home} は減少する傾向あることが分かる。これは, 帰宅前に自由活動を実行すれば, 帰宅後の活動の自由度が減少するためである。これらの内生変数間の関係, および内生変数の誤差項の相関関係についての推定結果は, 極めて妥当な結果であると考えられ, 本モデルの推定結果の妥当性を支持するものと考え

られる．また，この推定結果は，個人の活動パターンを表す複数の指標を内生化する場合，内生変数間の相互関係を考慮することが不可欠であることを示すものであると考えられる．

一方，外生変数と内生変数との因果関係に着目すると，通勤時間が長いほど， D_{out} ， $D_{ncommute}$ ， N_{out} ， D_{home} はそれぞれ減少し，自由活動の実行が制約される様子がうかがえる．なお，この結果は，通勤時間が短縮された場合には N_{out} が増加する，すなわち，通勤時間の短縮によって交通需要が誘発されることを示しているものと考えられる．また，勤務開始時刻が早くなると N_{trip} は減少し D_{out} や D_{home} の時間が短縮されることがわかる．そして，勤務終了時刻は 5 つの内生変数に対し，すべて負の影響を及ぼしている．勤務開始時刻と勤務終了時刻を同時に着目すると，勤務時間が増加すると，自由活動が制限されると解釈することもできる．さらに，フレックスタイム制が導入されれば，帰宅前に活動を行う反面，在宅時間が減少することがわかる．そして，平均的な残業時間が長い個人ほど，たとえ勤務終了時刻がより残業時間が短い個人と同じであっても，帰宅後の外出回数が少ないという傾向が読み取れる．以上より，勤務時間帯，勤務時間，そして通勤時間等の勤務条件が，就業者の活動パターンに大きく影響を与えることが分かった．

その他，年齢が高い人ほどまっすぐ帰宅する傾向がある，通勤手段が自動車の人ほど宅内よりも宅外で自由時間を過ごす傾向がある，そして，職場付近の単位面積当たりの飲食店数が多いほど，帰宅前の活動時間が多くなる，等の傾向が読み取れる．

最後に，選好水準推定モデルで求めた η_{out} と η_{home} に着目すると， η_{out} は $D_{ncommute}$ ， N_{out} の両方に正の影響を及ぼしている．これは，宅外での活動を好む傾向にある人ほど帰宅前に遠方の目的を訪れ，帰宅後も外出する機会が多いものと解釈できる． η_{home} は N_{out} に対しては負の影響を示し， D_{home} に対しては正の影響を及ぼしている．これは宅内の活動を好む傾向にある人ほど帰宅後は自宅でゆっくり過ごす傾向にあることを示している．これらの結果は，心理的な要因が，就業者の生活パターンに有意に影響を及ぼしていることを示すものである．さらに，この結果は，政策によって交通システムや活動施設を利用した場合の利便性が向上した場合，心理的要因の相違によって，各個人が受ける便益が異なることを示している．例えば，宅外での自由活動で個人が受ける便益の向上を図る政策を行う場合，その政策は，外出傾向の強い η_{out} が大きい個人の方が受ける便益が大きい，あるいは，通勤交通の利便性，快適性を高める政策を行う場合には，真っ直ぐ帰宅する傾向が強い η_{home} が大きな個人の方が受ける便益が大きい，等がこの推定結果から考えられる．したがって，特定のセグメントに政策効果が偏ることを避けるためには，少なくともここで示した推定結果からは，各個人が宅外での活動を好む個人であるのか，あるいは，宅内での活動を好む個人であるのかを考慮することが必要であるものと考えられる．

4.4 感度分析

前節では、モデルシステムを特定化し、ダイアリーデータに基づいて推定計算を行った結果を解釈することによって、推定結果の妥当性について検討した。本節では、モデルシステムの外生変数の変化に対する就業者の生活パターンの感度分析を行い、本モデルシステムを用いた政策評価の適用性に検討を加える。なお、本モデルは、クロスセクショナルデータに基づいて推定されたものである。すなわち、異なる個人間の外生変数のばらつきに基づいて内生変数の分散を表現し、パラメータを推定している。したがって、ここでは、異なる個人の外生変数のばらつきが内生変数の分散に与える影響は、同一個人の外生変数の変化が内生変数の分散に与える影響と等しいものと仮定して、感度分析を行う。

まず、通勤時間について感度分析を行った結果を表 4-5 に示す。全員の通勤時間が一律に 10 分短縮されると、全体の平均として、帰宅前の活動時間が 1.88 分、通勤以外の移動時間が 0.36 分増加する結果となった。帰宅後の在宅時間については 7.11 分増加する。

なお、通勤時間が 10 分短縮された場合、勤務終了後に自由に使える時間が 10 分増加したものと解釈できる。そこで、図 4-2 に通勤時間の短縮によって余った 10 分が配分される活動の割合を表 4-5 に基づいて示した。図 4-2 より、余った 10 分の 70%が就寝までの自宅内での活動に配分される一方、帰宅前の活動には合計 23%の時間しか配分されないことがわかる。そして、残りの 7%はその他の活動に費やされる事となる。この残りの 7% (0.65 分) は、本モデルで内生化していない睡眠、起床から勤務開始時刻までの活動、および勤務終了後の外出時の活動に費やされるものと考えられる。これより、通勤時間の変化に伴う時間配分の変動の 9 割強を、本モデルで説明できることが分かる。また、ツアー特性に着目すると、帰宅後に外出する回数は 0.012 回 (約 3 割) 平均的に増加することとなる。これは、通勤時間が短縮し、生活の自由度が向上したことによって、潜在的な交通需要が誘発されたものと解釈できる。

表 4-5 就業者行動モデルの感度分析 (通勤時間)

	通勤時間	変化なし	片道 10 分短縮 (変化量)
<i>D_out</i>	帰宅前宅外活動時間 (分)	25.56	27.44 (+1.88)
<i>D_ncommute</i>	帰宅前通勤以外活動時間 (分)	6.78	7.14 (+0.36)
<i>N_out</i>	帰宅後外出回数 (回)	0.03	0.04 (+0.01)
<i>D_home</i>	帰宅後在宅時間 (分)	216.05	223.16 (+7.11)

表 4-6 就業者行動時間の感度分析 (勤務時間帯)

	勤務時間帯	変化なし	1 時間早める (変化量)
<i>N_trip</i>	帰宅前目的トリップ数 (回)	1.08	1.13 (+0.05)
<i>D_out</i>	帰宅前宅外活動時間 (分)	25.56	32.13 (+6.57)
<i>D_ncommute</i>	帰宅前通勤以外活動時間 (分)	6.78	9.14 (+2.36)
<i>N_out</i>	帰宅後外出回数 (回)	0.03	0.04 (+0.01)
<i>D_home</i>	帰宅後在宅時間 (分)	216.05	247.43 (+31.38)

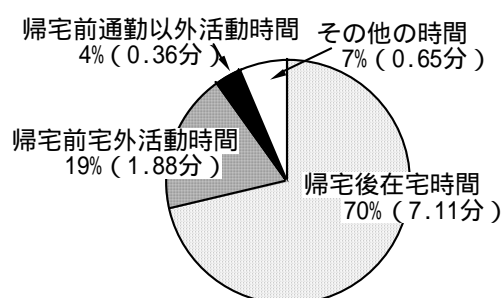


図 4-2 通勤時間 10 分が短縮された場合の活動別配分時間

一方、勤務時間についての感度分析を行う際には、各個人の勤務時間は感度分析前後で一定と仮定し、勤務開始時刻と終了時刻を共に 1 時間早い時刻にずらして、計算した。その結果を表 4-6 に示す。勤務時間帯を 1 時間早めた場合、帰宅前のトリップ数、および帰宅後の外出回数は、それぞれ 0.05 回、0.01 回ずつ増加することとなる。これは、通勤時間の短縮によって予測されたことと同様に、潜在的な交通需要が誘発されたものと解釈できる。また、活動時間に着目すると、宅外での活動時間は 6.57 分、移動時間は 2.36 分、帰宅後の在宅時間は 31.38 分それぞれ増えることになる。ここで、表 4-2 の就業者の平均的な行動パターンを考慮すると、宅外での活動時間、移動時間、および自宅での活動時間が増加したことによって減少する活動時間の大半は、睡眠時間、起床から出勤時刻までの在宅時間であることが予想される。すなわち、勤務開始時刻が早まることによって、睡眠と起床から出勤までの活動に費やす時間、つまり自宅内で過ごす時間を犠牲として、就業者の自由活動が活性化されることが、この感度分析より推察される。なお、睡眠時間や出勤前の在宅時間への影響に関して詳細な検討を加えるためには、勤務開始時刻以前の活動も対象に含めたモデルシステムの構築が必要となろう。

このように、本モデルでは、勤務条件、通勤条件が変動した場合の就業者の行動特性の変動の分析が可能である。なお、本モデルを用いて具体的な政策評価を行う場合、 N_{trip} 、 N_{out} 等を集計化することで、誘発交通需要を予測することができる。また、 D_{out} 、 $D_{ncommute}$ 、 D_{home} 等の活動時間の変化を予測することから、政策が個人の生活行動に及ぼす影響を考慮した政策分析が可能となる。

4.5 結語

本章では、実用的な政策評価モデルの構築を目指し、また、モデルの構築を通じて誘発需要について検討を加えることを目的として、構造方程式モデルの枠組みを用いて就業者の行動データに分析を加えた。本章での分析より、心理的要因が就業者の行動パターンに影響していること、在宅時間や宅外の自由時間等の交通行動以外の生活行動に関する指標を内生変数としてモデルに導入することで、交通発生モデルの適合度が高くなることが分かった。特に、通勤時間が交通発生頻度についての指標に対して有意に負の影響を及ぼしていることから、交通容量

の拡張などによって交通速度が改善され、通勤時間が短縮された場合には、その交通容量の拡張によって新たな交通需要が誘発される可能性が存在することが、統計的に示された。この結果は、政策評価、あるいは、交通需要予測を行う場合には、従来の四段階推計法に代表されるような、誘発需要の存在を仮定しない方法論を用いた場合、誤った政策判断がなされてしまう可能性が存在することを示唆しているものと考えられる。なぜなら、交通混雑を緩和するために誘発需要を考慮せずに算定される交通需要量に見合うだけの交通システムを整備したとしても、誘発需要によって交通需要がさらに増加し、結果的には当初の目的であった交通混雑の解消が図れない、という問題が生じる可能性があるものと考えられるからである。したがって、的確な交通需要解析を行うためには、誘発需要の存在を的確に把握することが必要であるものと考えられる。そして、誘発需要を考慮するための一つの方法として、本章で示した構造方程式モデルの枠組みで構築されている就業者の行動モデルを適用する方法が挙げられるものと考えられる。

ただし、構造方程式モデルの枠組みで生活行動をモデル化する場合、全ての個人について共通の変数を設定することが必要であることから、ここで示したようにモデル化の対象を就業者の勤務終了から就寝までの間の行動パターンのみとする、といった形で対象を限定する必要がある。休日の行動パターン、あるいは、就業者以外の学生や主婦等の行動パターンをモデル化するためには、個別にモデルを構築することが必要とされる。また、目的地や活動内容等を内生化するためには、極めて多くの内生変数が必要であり、それらを内生化したモデルの構築は困難である。さらに、構造方程式モデルでは、変数間の共分散関係をモデル化しているに過ぎず、個人の意思決定の再現を図るものとは言い難い。この点も、構造方程式モデルの問題点として挙げられる。

本章で述べた構造方程式モデルに基づいた行動モデルでは、上述のような問題を内包する枠組みではあるが、本章で示した様に、活動と移動との関係を考慮した上で需要予測を行うことが可能であり、対象を限定した政策評価を簡便に行うためには、有効であるものと考えられる。また、変数間の共分散関係を直接モデル化したことで、交通サービスレベルとトリップ頻度との関係を統計的に示すことができたことも、本分析の成果であると考えられる。

注

[1] 一般に、構造方程式モデルは以下の様に定式化される．

$$\text{構造方程式} \quad \eta = \mathbf{B}_{\#}\eta + \Gamma\xi + \zeta \quad (\text{a})$$

$$\text{測定方程式} \quad \mathbf{x} = \mathbf{K}\eta + \Lambda\xi + \mathbf{e} \quad (\text{b})$$

ここに、 η : 内生潜在変数ベクトル

ξ : 外生潜在変数ベクトル

\mathbf{x} : 観測変数ベクトル

ζ, \mathbf{e} : 多変量正規分布に従う誤差項ベクトル

$\mathbf{B}_{\#}, \mathbf{K}, \Lambda, \Gamma$: パラメータ行列

なお、上記の定式化は、重回帰モデル、因子分析、主成分分析等の種々の多変量解析をその特殊形として持つ一般的な定式化である．さらに、潜在的な要因を仮定することが可能である点も、構造方程式モデルの特徴である．

各変数を標準化し、かつ、 ξ, ζ, \mathbf{e} は互いに独立であり、逆行列 $\mathbf{B}=(\mathbf{I}-\mathbf{B}_{\#})^{-1}$ が存在する、と仮定すると、式(a)(b)から、以下を導くことができる．

$$\Sigma\mathbf{x} = (\mathbf{K}\mathbf{B}\Gamma + \Lambda)\Phi(\mathbf{K}\mathbf{B}\Gamma + \Lambda)^{\top} + \mathbf{K}\mathbf{B}\Psi\mathbf{B}^{\top}\mathbf{K}^{\top} + \Delta \quad (\text{c})$$

ここに、 $\Sigma\mathbf{x}$: \mathbf{x} の分散共分散行列

Φ : ξ の分散共分散行列

Ψ : ζ の分散共分散行列

Δ : \mathbf{e} の分散共分散行列

一方、観測変数 \mathbf{x} の分散共分散行列は、観測データから算定することができる．そこで、式(c)に示した理論的分散共分散行列と、観測データから算定される分散共分散行列を適合させて、パラメータ $\mathbf{B}, \mathbf{K}, \Lambda, \Gamma$ 、および、分散共分散行列 Φ, Ψ, Δ を最尤推定法あるいは最小二乗法等を用いて推定する．なお、本稿で示した構造方程式モデルは、 ξ として個人属性等の外生変数を直接使い、かつ、本文の式(3)あるいは(4)～(7)の様に観測変数の離散性を考慮した測定方程式を用いているが、推定方法は上述のものと同一である．ただし、観測変数の離散性を考慮する場合、重み付き最小二乗法を用いるのが一般的である⁵⁾．

[2] 「構成されたモデルは正しい」という帰無仮説の下では、母数推定のために最小化を図る適合度関数を f 、サンプル数を N とした場合、 $(N-1)f$ は χ^2 分布に近似的に従うことが知られている．これを利用して、モデル全体の検定を行うのが χ^2 検定である．しかし、サンプル数が大きい場合、検定力が非常に強くなり、ほとんどのモデルが棄却されるため、サン

ブル数が大きい場合，モデル検定の目安とすることは困難である．この欠点を補う適合度指標として GFI が挙げられる．GFI は，構成したモデルが標本共分散行列を説明する割合を示すものであり，0.0～1.0 までの値を取る．ただし，GFI は推定パラメータ数を増加させた場合，1.0 に近づく性質がある．AGFI は，GFI のこの性質を改善した資料であり，推定パラメータ数に依存しない適合度指標である⁵⁾．

- [3] 構造方程式モデルでは，主観的評価値 y を分散 1，平均 0 の変数に正規化した後に，未知パラメータを推定している．したがって閾値のみから，ここで述べた主観的評価値に関する傾向を解釈することが可能である．

第四章 参考文献

- 1) 藤井 聡・北村隆一・門間俊幸：誘発交通需要分析を目指した就業者の活動パターンに関する研究，土木学会論文集，No. 562/IV-35, pp. 109-120, 1997.
- 2) Fujii, S., and R. Kitamura.; A Structural Equations Model System of Commuters' Time Use and Travel, Conference Pre-Prints of workshop on TIME USE at The 8th Meeting of the International Association for Travel Behavior Research, Austin, Texas , 1997.
- 3) 森川高行，佐々木邦明：主観的要因を考慮した非集計離散選択型モデル，土木学会論文集，No. 470/IV-20, pp. 115-124, 1993.
- 4) Maddala, G. S.: Limited-dependent and Qualitative Variables in Econometrics, Cambridge University Press, pp. 149-196, 1983.
- 5) Jöreskog, K. and D. Sörbom: LISREL VI-An Analysis of Linear Structural Relation by of Linear Structural Relation by Maximum Likelihood, Instrumental Variables, and Least Squares Methods, User's Guide, Department of Statistics, Univ. of Uppsala, Uppsala, Sweden, 1984.

第五章 逐次的意思決定過程を仮定した生活行動シミュレーションモデルの構築^{1), 2)}

5.1 序言

前章で示した構造方程式モデルを適用した生活行動モデルでは、モデル化の対象が限定されること、ならびに、目的地選択、活動内容選択を内生化することが困難であることが問題点である。いうまでもなく、交通システムの利用者は勤務を終了した直後の就業者だけでなく、かつ、政策は目的地選択や活動内容選択にも影響を及ぼす。したがって、総合的な政策評価を行うためには、種々の属性の個人の、様々な条件下での生活パターンを対象とした行動モデルを、目的地選択や活動内容選択等を考慮した上で構築することが不可欠である。

しかし、2.2 で述べたように、この様な一般的な行動モデルの構築を目指した場合には、対象とする生活パターンが活動内容、活動数、場所、時間といった様々な要素によって異なることから、各個人の生活パターンの選択肢は膨大な数となることが予想される。特に、活動時間といった連続的な変数と活動内容、場所等の離散的な変数についての選択問題を同時的に取り扱う数理的枠組みも必要であることも考えあわせると、一般的な生活パターンについての選択問題を統一的に説明するモデルの構築は容易ではない。こういった生活パターンの選択モデルの構築に当たっての問題点を回避する方法としては、2.1.3 で示した様な、German Approach モデル³⁾や、マルコフ過程モデル^{4), 5), 6), 7)}、あるいは、SCHEDULER⁸⁾、SMASH⁹⁾、AMOS¹⁰⁾等の試行錯誤や対応行動に着目したモデルシステム等を構築する際に採用されている、複数の行動モデルを組み合わせるという方法が挙げられる。こういったアプローチに基づいて生活行動モデルを構築した場合、各モデルが対象とする選択範囲が限定されるため、個々のサブモデルの選択肢集合が膨大なものとなることを避けることができる。それと共に、離散変数と連続変数の双方についての選択行動結果を再現するモデルを別個に構築し、それらを組み合わせることで、離散変数と連続変数のそれぞれで規定される生活パターンを生成することもできる。

本章では、以上の認識のもと、簡便に個人の生活パターンを再現することを目的として、活動内容の選択や、活動時間などのそれぞれの生活パターンの要素についてのサブモデルを組み合わせ、かつ、生活パターン意思決定過程として逐次的な意思決定過程を仮定したマイクロシミュレーションモデルを構築することとした。

ここで、個人の生活行動を再現するモデルシステムを構築する際、個人は種々の制約条件のもとで交通行動を行っている、との認識を前提とすることは有効なアプローチであるものと考えられる。その中でも、Hagarstrand による時空間プリズム制約¹¹⁾は、個人の生活行動を考える際に、特に重要な制約であるものと考えられる。実際、既往の研究においても、近藤¹²⁾、西井¹³⁾が、この点に着目した個人の行動解析を行い、その重要性を示している。本章で生活行動マイクロシミュレーションを構築するにあたって、時空間プリズム制約を考慮することは不可欠であるとの認識から、個人の時空間内の行動軌跡を時空間プリズム内で生成していくこ

とした．そして，本章で構築する生活行動マイクロシミュレーションを PCATS（Prism-Constrained Activity-Travel Simulator）と呼ぶこととした．

こうした枠組みで構築される PCATS を用いることで，通勤時間や勤務時間等の勤務条件の変化や，交通速度改善，公共交通機関営業時間帯の延長といった生活環境，交通環境の変化に伴う，個人の活動の実行・非実行，活動の順序，活動の時間，場所，内容，そして，移動時の交通機関等の変化を予測することができるものと期待される．すなわち，PCATS は，1 日を通じての個人の生活行動全般の予測を図ることで，従来の行動モデルでは予測することが困難であった，交通速度改善や勤務条件の変化等の交通政策が，個人へ及ぼす総体的な影響の評価を目指すものである．

本章では，PCATS の概要を述べるとともに，仮想的な個人の種々の条件下での生活行動を再現し，PCATS の適用可能性についての検討を行う．

5.2 シミュレーションモデルにおける仮想個人の挙動

5.2.1 シミュレーションモデルの前提

本シミュレーションモデル PCATS では，個人の 1 日は，自由時間帯と固定時間帯に分類されるものと仮定する．固定時間帯では，活動内容，場所，時間等の活動の要素は予め決められており，個人の自由意思ではそれらの要素を変更することは不可能であるものと仮定する．一方，自由時間帯では，個人の自由意思で活動および移動の各要素を決定することが可能であると考えられる．

また，個々の活動，および移動を，以下の要素で表現することとした．

活動：開始時刻，終了時刻，活動内容，活動場所

移動：出発地，目的地，交通機関，出発時刻，到着時刻

ここで，活動内容については，以下ように分類した．

在宅，
宅外でのスポーツ運動，
宅外での趣味・娯楽，
宅外での交際・訪問，
外食，
日常的な買い物，
娯楽としての買い物，
固定活動場所周辺の活動

なお、「固定活動場所周辺の活動」とは、宅外での固定活動が予定されている場合、その固定活動を実施するために予めその固定活動場所周辺に移動して実行する準備活動、あるいは、「暇つぶし」的な活動等を意味している。PCATS でこの活動カテゴリーを定義したのは、個人の生活行動にはこの様な準備活動や暇つぶし活動が存在し、かつ、その内容をモデル上でより詳細に分類することは困難であるものと考えたためである。

また、活動場所、および、移動の出発地、目的地については、対象地域を複数の地域（以下、ゾーンと呼ぶ）に分割することで表現することとした。なお、後に示す数値計算では、京阪神地域の 174 市区町村をゾーンとした。

交通機関については、

自動車、
公共交通機関、
自転車、
徒歩

の 4 つの交通機関を考慮することとした。さらに、移動における所要時間、費用、乗り換え回数等は、移動の出発地、目的地、ならびに交通機関の 3 要素によって一義的に規定されるものとした。

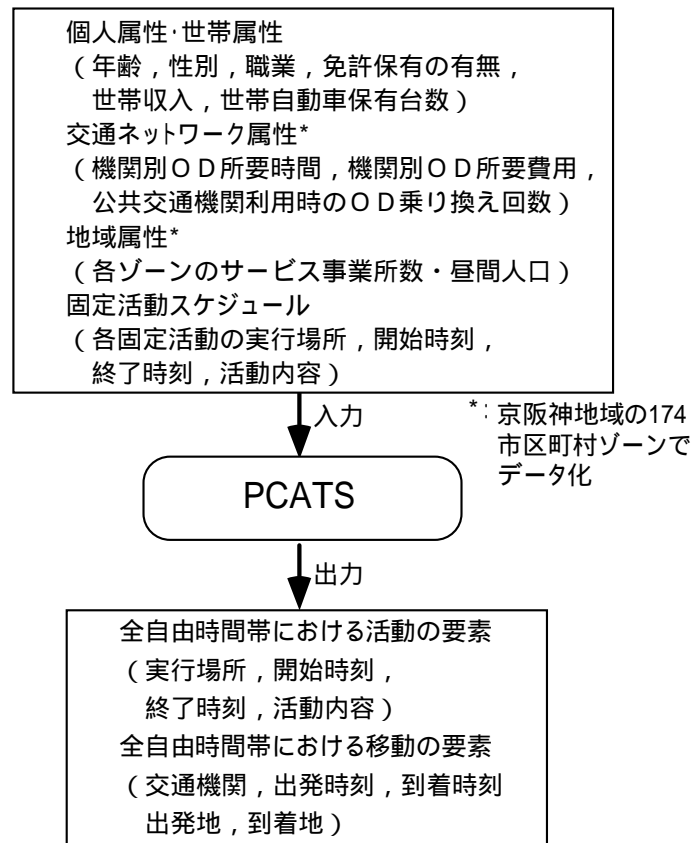


図 5-1 PCATS の入出力

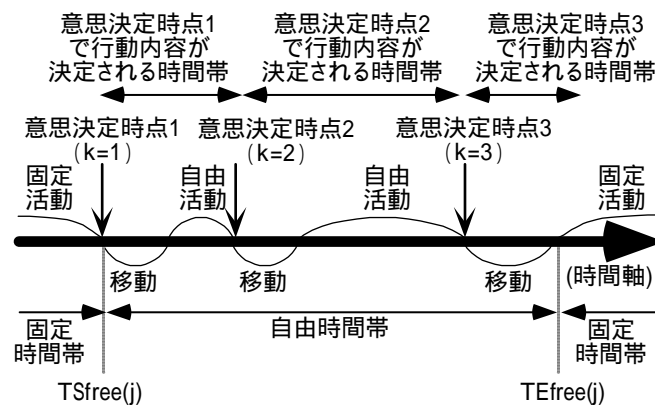


図 5-2 自由時間帯における意思決定時点とその対象時間帯

ここで, PCATS の入力, 出力を図 5-1 に示す. 図 5-1 に示したように, PCATS は, 個人・世帯属性, 交通ネットワーク属性, 地域属性, および, 固定時間帯のスケジュールを入力することで, 自由時間帯における各活動の要素(個々の活動の場所, 開始時刻, 終了時刻, 内容), および移動の要素(出発地, 目的地, 出発時刻, 到着時刻, 交通機関)を生成する. なお, 上述のように, PCATS では, 移動の出発地, 目的地, および, 活動の場所はゾーンで表現することから, 入力データである地域属性, 交通ネットワーク条件についても, ゾーン単位で入力す

ることとした。

5.2.2 シミュレーションモデルにおける仮想個人の意思決定過程

PCATS では、図 5-2 に示した固定時間帯から自由時間帯へ移行する時点、および、自由時間帯において 1 つの自由活動が終了した時点を「意思決定時点」と定義する。PCATS 内の仮想的な個人（以下、仮想個人）は意思決定時点ごとに、その意思決定時点に続く活動および移動の要素を逐次的に決定していくものと仮定した。また、ここで仮定した活動と移動の要素は、活動場所、活動時間、活動内容、および移動の交通機関の 4 項目を決定することで特定されるが^[1]、これらの 4 項目を段階的に意思決定していくものと考えたこととした。

ここで、段階的な意思決定過程としては、種々のものが考えられるが、本章では、活動場所は活動内容と与件として決定され、活動時間は活動内容と活動場所と与件として決定されるものと考え、「仮想個人はまず活動内容を決定し、その次にその活動を実行するための活動場所およびその場所を目的地とする移動での交通機関を同時に決定し、最後にその場所でその内容を実行するための時間を決定する」という意思決定過程を仮定した。この考え方に基づいて、図 5-3 に示したような仮想個人のある自由時間帯 j における意思決定の過程を示した。なお、図 5-3 において、 k は対象とする自由時間帯に含まれる意思決定時点番号を意味する。そして、意思決定時点 k では、意思決定時点 k から $k+1$ 、あるいは自由時間帯終了時点までの間の行動に関する意思決定を行うものとする（図 5-2 参照）。以下、図 5-3 に基づいて、PCATS 内の仮想個人の意思決定過程について詳細に述べる。

シミュレーション内の仮想個人は、意思決定時点においては、まず活動内容選択を行う。ここで、活動内容選択は、「在宅後外出」「在宅」「固定活動場所周辺の活動」「宅外自由活動（スポーツ運動、趣味・娯楽、日常的な買い物、交際・訪問、外食、娯楽としての買い物）」の 9 つを選択肢集合として持つものと考えた。PCATS では、図 5-3 に示したように仮想個人は、活動内容選択で選択した選択肢によって、意思決定過程が異なるものとした。

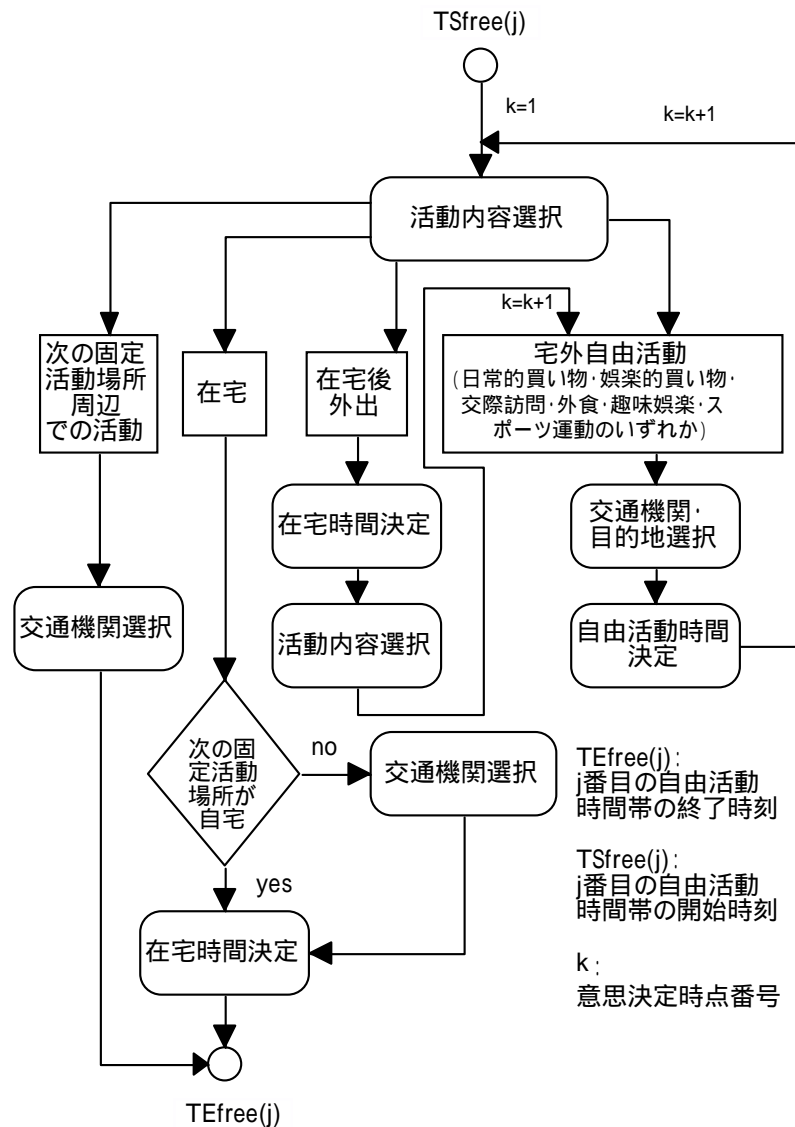


図 5-3 PCATS における意思決定時点での意思決定過程

1) 「在宅」を選択した場合

活動内容選択において「在宅」を選択し、次の固定活動場所が自宅以外の場合は、次の固定活動場所までの交通機関選択を行う。そして、自宅に滞在できる最遅時刻まで自宅に滞在する。なお、自宅に滞在できる最遅時刻は、選択した交通機関を用いた場合の、自宅から次の固定活動場所までの移動時間と、次の固定活動開始時刻から求められる。

一方、「在宅」を選択し、次の固定活動場所が自宅の場合は、残された自由時間が在宅時間となり、意思決定を終了する。

2) 「在宅後外出」を選択した場合

「在宅後外出」を選択した場合は、まず、在宅時間を決定し、その後、外食、スポーツ・運動等の宅外自由活動のみを選択肢集合とする活動内容選択を行う。そして、その自由活動を実

行するための場所，およびそこまでの移動で利用する交通機関を選択した後に，自由活動の実行時間を決定する．これらの意思決定に基づいて実行した自由活動の終了時刻が，次の意思決定時点となる．

3) いずれかの「宅外自由活動」を選択した場合

この場合には，決定した自由活動を実行するため目的地とそこまでの交通機関の選択，及び活動時間の意思決定を行うものとする．そして，自由活動終了時刻が次の意思決定時点となる．

4) 「固定活動場所周辺での活動」を選択した場合

この場合は，意思決定時点で直接次の固定活動場所まで移動し，次の固定活動場所の開始時刻まで何らかの活動を実行するものとする．そして移動に伴う交通機関選択を行い，そこで意思決定を終了する．

5.3 個々の意思決定に関する仮定とそのモデル化

ここでは，前節に示した意思決定過程における目的地選択，機関選択，活動内容選択，および活動時間の意思決定を再現するために構築した3つのサブモデルのそれぞれについて，(1) 未知パラメータの推定と(2) シミュレーション内の適用方法を述べる．なお，モデルの構築にあたっては，第三章で述べた大阪湾岸パネル調査の第3回調査で収集された平日のダイアリーデータを用いた．

5.3.1 想定時間分布モデル

PCATS では，個人は在宅，外食などのそれぞれの活動を実行する場合に要するであろう時間を予め想定し，それに基づいて活動の内容や場所などの意思決定を行っているものと考えた．このような考え方を導入したのは，例えば，活動甲乙丙の三種類の活動選択を行う個人は，

「もし，活動甲を実行するならばおおよそこれくらいの時間を要するであろう，また，活動乙，活動丙を実行するならばそれぞれ，これくらいずつの時間を要するであろう」

と考え，その上で，この個人は活動甲乙丙のそれぞれの実行が可能であるか否かの検討も含めて，いずれかを選択するものと考えたからである．そして，この活動内容別に想定した時間は，活動時間や活動実行場所の意思決定にも影響を与えるものと考えた．ここでは，このような予め活動内容ごとに想定する活動時間を「想定活動時間」，その分布を「想定時間分布」と呼び，これを推定するモデルを「想定時間分布モデル」と呼ぶこととする．

ここで，連続変数を内生変数としたモデルの枠組みとしては，重回帰モデルや Tobit モデル，さらにそれらを統合した構造方程式モデル等，いくつかのものが考えられる．前章で示した就業者の行動に着目した分析例では，構造方程式モデルの考え方をを用いて，在宅時間や宅外時間等の活動時間をモデル化した．このような構造方程式モデルには，内生変数を複数考慮できること，また，それらの間の因果関係を考慮できること等のいくつかの長所がある．しかし，構造

方程式モデルでは、全ての変数が正規分布に従うものと仮定されており、この仮定の現実性に関しては、疑問が残るところであるものと考えられる。特に、非負の変数である活動時間については、複数の確率分布族を仮定して回帰を行った結果、正規分布とは大きく異なるワイブル分布が活動時間分布によく適合するという結果が Lindh らによって示されている¹⁴⁾。したがって、活動時間をモデル化する場合、ワイブル分布や対数正規分布等を仮定した Duration モデル¹⁵⁾の枠組みを用いることが適切であるものと考えられる。既往においても、先述の Lindh らの他にも、多くの研究者によって Duration モデルが活動時間をモデル化する際に用いられており、その例として、Kim & Mannering¹⁶⁾、Bhat¹⁷⁾、森地ら¹⁸⁾、森川ら¹⁹⁾の研究が挙げられる。なお、森地ら、森川らの研究では、活動時間の分布としてワイブル分布を用いて、有意なモデルが推定されている。また、先述のように、Lindh らはワイブル分布が最もデータに適合する分布であることを統計的に示している。これらの既往の研究業績を踏まえて、PCATS でも、ワイブル分布を仮定した Duration モデルの枠組みで、想定時間分布モデルを構築することが得策であると考えた。

一方、PCATS では、宅外の自由活動として、スポーツ運動、趣味・娯楽、日常的な買い物、交際・訪問、外食、娯楽としての買い物の 6 つの活動を考慮しており、これらのそれぞれについて個別に想定時間分布モデルを構築することとした。また、在宅活動についての想定時間分布モデルも構築することとした。

以上の前提に基づいて、在宅と上述の 6 つの宅外自由活動のそれぞれの想定活動時間について、以下の様に定式化した。

$$y = Y_0 \exp(BX) \quad (5-1)$$

ここに、

- y : 想定活動時間
- Y_0 : 標準個体の想定活動時間（ワイブル分布に従う確率変数）
- B : パラメータベクトル
- X : 説明変数ベクトル

(1) 未知パラメータの推定

パラメータの推定にあたっては、想定活動時間分布に基づいて活動時間が決定されているものと考え、かつ、実行される/されないという条件と想定活動時間分布とは独立であると仮定して、上述のダイアリーデータセットから先に述べた 6 つの宅外の自由活動、ならびに在宅活動を抽出し、それぞれの活動時間を被説明変数とみなした。また、外生変数としては、表 5-1 に定義したものをを用いた。

以上の前提に基づいて、それぞれの活動別に推定した未知パラメータを表 5-2、表 5-3 に示

す。

まず、 χ^2 値、 ρ^2 値に着目すると、それぞれの活動内容について有意なモデルが推定されたことがわかる。次に、Shape Parameter（形状母数）に着目すると、在宅活動が最も 1 に近い値となっていることが分かる。このことより、在宅活動時間分布が最も指数分布に近く、活動終了に関する時間依存性が低いことが分かる。一方、スポーツ・運動活動、趣味・娯楽活動の Shape Parameter は、1 よりも大きな値となっていることから、活動終了に関する時間依存性が高いことが分かる。外生変数に着目すると、自由活動にの実行に費やすことのできる最大の時間長を表す Margin1, Margin2 に着目すると、スポーツ・運動、食事については有意に推定できなかったものの、それ以外の全ての活動において、正のパラメータが推定された。このことは、時間的に余裕がある場合には、活動実行時間がより長くなるものと解釈でき、妥当な推定結果であるものと考えられる。活動実行時間帯に着目すると、夜の時間帯には、食事、交際・訪問、趣味・娯楽等の、夜に実行することが一般的である自由活動の活動時間が長くなる一方で、日常的な買い物の実行時間は短くなる傾向にあることが分かる。また、在宅時間に固有な seg4 に着目すると、再び外出する予定があるにも関わらず、別の外出先から一旦帰宅した場合、在宅時間は長くなる傾向があることが読み取れる。さらに、在宅活動やスポーツ・運動における total の推定結果からは、その活動を開始するまでに既に長い時間をそれぞれの活動に費やしている場合には、活動時間が短くなる傾向にあることがわかる。

（２） PCATS における想定時間分布モデルの適用

想定時間分布モデルは、シミュレーション内では、活動内容選択や交通機関目的地選択の説

明変数を生成するために、および、それらの選択肢集合を特定するために用いる。なお、これらの詳細については、後に述べる。

また、想定時間分布モデルは、仮想個人の活動実行時間を決定する際にも用いられる。活動時間を決定する際には、まず、現在位置と既に選択した交通機関と活動場所から、活動開始時刻を決定する。次に、活動開始時刻と活動場所、および次の固定活動の場所と開始時刻から、実行可能な活動時間の最大値（最大活動時間）を求める。そして、想定時間分布モデルより推定された想定時間分布を最大活動時間において打ち切り、想定時間分布を補整する²⁰⁾。この補整後の想定時間分布に基づいて、モンテカルロシミュレーション法に基づいて活動時間を決定する。

5.3.2 活動内容選択モデル

活動内容選択を図 5-4 の選択構造を仮定したネスティッドロジットモデルを用いてモデル化した。

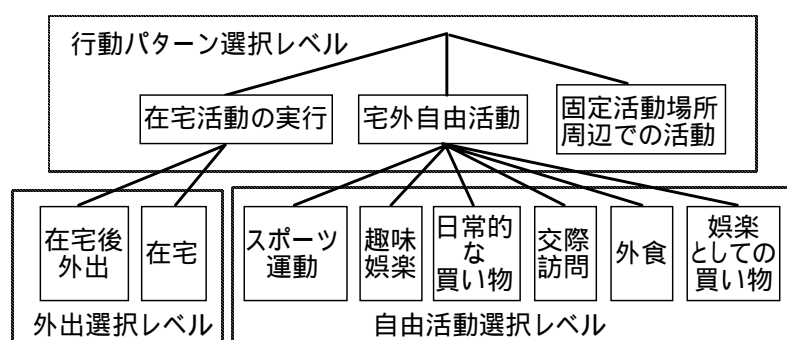


図 5-4 活動内容選択モデルにおける選択構造

(1) 未知パラメータの推定

推定にあたっては、想定時間分布モデルの推定時に用いたものと同じダイアリーデータから抽出した活動内容選択行動のデータを用いた。自由活動選択レベル、外出選択レベル、行動パターン選択レベルのそれぞれの外生変数としては、表 5-4、表 5-6、表 5-8 に定義した変数を用いた。ここで、表 5-4、表 5-6 に示した確率「ProbL」については以下の手順で求めた。まず、最大活動時間 D_{free} を、

$$D_{free} = TS - TN - D_{od} \quad (5-2)$$

ここに、

TS ： 次の固定活動の開始時刻

TN ： 現在時刻

D_{od} ：最も早く到達できる交通機関での、現在の場所から次の固定活動場所までの移動時間（ただし、現在場所が宅外である場合の最大在宅活動時間を算定する際には、現在場所から自宅、自宅から次の固定活動場所までの移動時間として求めた）

として求める．そして、想定時間分布モデルから求められる在宅活動や外食、買い物などの宅外自由活動の想定時間分布に基づいて、それぞれの活動時間が D_{free} を超過しない確率を求め、これを ProbL とした．また、選択肢集合に関しては、上述の ProbL が 10% を下回った活動の選択肢を削除するという方法で特定化した．

以上の前提に基づいて、段階推定法^[2]を用いて行ったそれぞれのレベルの推定結果を、表 5-5、表 5-7、表 5-9 に示す．以下、各レベルの推定結果について考察を加える．

まず、表 5-5 に示した自由活動選択レベルの推定結果について考察を加える． χ^2 値、 ρ^2 値に着目すると、推定されたモデルが有意であることが確認できる．定数項に関しては、食事、日常的な買い物が大きな値をとっている一方で、スポーツ・運動、交際・訪問は小さな値となっていることが分かる．個人属性に着目すると、男性の方が日常的な買い物を除く全ての自由活動を実行する確率が高く、女性の日常的な買い物を実行する頻度は高いこと、主婦の方がスポーツ・運動を実行する確率が高いが交際訪問、娯楽としての買い物を実行する確率は低い、等の傾向が読み取れる．また、ProbL に着目すると、交際・訪問、日常的な買い物、娯楽としての買い物の 3 つの選択肢において有意な正の係数が推定された．このことより、これらの 3 つの活動は、十分に時間がある場合に実行される傾向が高くなる、あるいは、十分な時間が存在しない場合には実行する傾向は低下することが分かる．一方、食事についてそのような傾向は見られず、与えられた時間内で、その実行を簡単に済ますことが可能なのではないかと推測される．ただし、スポーツ・運動、趣味娯楽に関しては、実行しているサンプル自体が少なく、そのために、ProbL のパラメータが有意に推定されなかった可能性があるものと思われる．

次に、外出選択レベルの推定結果である表 5-7 に着目する．なお、外出選択レベルにおける選択肢「帰宅後外出」は、次の固定活動と在宅活動の間に少なくとも一回は宅外の自由活動を実行すること意味し、選択肢「在宅」は次の固定活動を実行するまで在宅活動を続けることを

意味する。また、表 5-7 では、選択肢である「帰宅後外出」の確定効用を 0 に固定した場合の推定結果であり、したがって、パラメータが正の変数の変数値が増加した場合、「帰宅後外出」を選択する確率は減少することとなる。

このレベルにおいても、 χ^2 値、 ρ^2 値より、良好な適合度を得られている事が分かる。また、Segment4、Segment2 のパラメータが有意に負となったことから、次の固定活動場所が自宅以外である場合には、帰宅後外出を選択する確率が高くなる事が分かる。特に、その傾向は、Segment4 について強い、すなわち、外出先から次の固定活動場所が自宅以外であるにも関わらず一旦帰宅した場合は、「帰宅後外出」を選択する確率が非常に高くなる事が分かる。また、Male より男性よりも女性の方が外出傾向が強いことがわかる。また、ProbL の係数の推定結果が負となったが、この推定結果は、十分に在宅活動を実行できる場合には、あえて一旦帰宅した後に外出を行うようなことはしない、と解釈できる。一方、各自由活動別の想定時間分布の平均に着目すると、Ehome、Emeal、Ershop が大きいほど在宅傾向が強まる、Edshop、Eamuse が大きいほど外出傾向が強まるという結果となった。

最後に、図 5-4 に示した 3 つの選択肢を持つ活動内容選択モデルの上位レベルに位置する選択レベルである活動パターン選択レベルの推定結果に着目する。なお、この推定計算では、在宅と帰宅後外出という双方ともに同一の在宅活動を含む選択肢のそれぞれの誤差項の間には、極めて強い共分散が存在するものと考え、選択肢「在宅活動の実行」へのログサム変数の係数を 0 に固定した。ただし、6 つの宅外自由活動の選択肢は、それぞれ異なった活動であることから、ログサム変数の係数を推定し、それぞれの選択肢の誤差項間の共分散を推定することとした。推定した結果、表 5-9 に示した様にこのログサム変数には、0 からの t 値、1 からの t 値のいずれともが十分に有意な係数が推定された。すなわち、自由活動選択レベルの各選択肢の誤差項は、互いに正の共分散が存在することが分かった。また、 χ^2 値、 ρ^2 値より、極めて良好な適合度を得られていることも確認できる。次に、個人属性に着目すると、年齢が高いほど、そして、労働者であるほど、自由活動を実行せず、帰宅する傾向が強いことが分かる。逆に、運転免許の保有は、大きく自由活動の実行を促進していることが分かる。また、自由時間が長い程、自由活動を実行する確率は増加し、次の固定場所へ直接行く確率が減少することが分かる。

(2) 活動内容選択モデルの適用方法

活動内容選択モデルは、図 5-3 に示した最上位の意思決定である活動内容選択を再現するために実行するモンテカルロシミュレーションの際の選択確率を算定するために用いられる。その際、推定計算の時と同様に、ProbL が 10%に満たない選択肢は選択肢集合から削除するという方法を用いて選択肢集合を特定する。この点において、PCATS では活動内容選択に coupling constraints¹¹⁾の考え方を導入しているものと言える。なお、意思決定時点から次の固定活動の開始時刻までの時間が短く全ての選択肢が実行不可能である場合でも、次の固定活動場所周辺での活動は選択肢集合から削除されることはない。したがって、仮想個人は、最終的には必ずこ

の選択肢を選択することとなる。

5.3.3 交通機関・目的地選択モデル

(1) 未知パラメータの推定

交通機関・目的地選択モデルは、図 5-5 の選択構造を仮定したネスティッドロジットモデルの枠組みで構築することとした。なお、推定にあたっては、想定時間分布モデル、活動内容選択モデルと同様のダイアリーデータから、交通機関・目的地選択行動データを抽出し、これを用いた。パラメータの推定にあたっては、段階推定法を用いることとした。ここでは、はじめに交通機関選択モデルの推定結果を述べる。そして、交通機関選択モデルの推定結果に基づいて算出したログサム変数を、目的地選択モデルに外生的に与えてパラメータ推定を行なった結果を後に述べる。

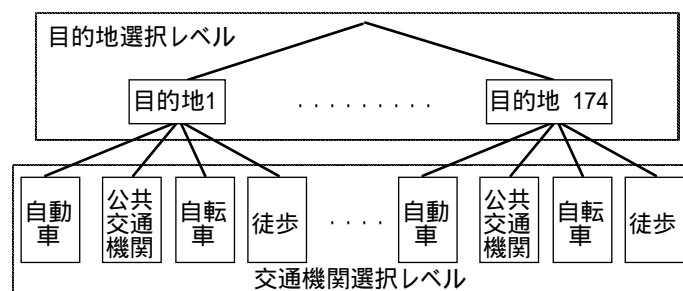


図 5-5 交通機関・目的地選択モデルにおける選択構造

交通機関の選択肢集合に関しては、公共交通機関、自動車、自転車、徒歩の4つとし、かつ、活動内容選択モデルと同様に coupling constraints を導入して、次の固定活動開始時刻にその場所に到達不可能な交通機関は、選択肢集合から削除した。特に、公共交通機関に関しては、選択時刻が営業時間外の場合、削除した。

さらに、自動車、自転車に関しては、現在の場所に利用可能な自動車、自転車が存在していない場合に削除した。なお、自動車保有台数が0台の世帯に関しては、自宅を起点とするトリップにおいては利用可能な自動車は無いのと仮定した。また、自宅や職場、あるいは後に再び戻ってくることを予定している場所には駐車（あるいは駐輪）が可能であるが、それ以外の場所では駐車（あるいは駐輪）は不可能と考えた。したがって、それらの場所以外に自動車（あるいは自転車）で訪れた場合には必ず自動車（あるいは自転車）を選択するものと考え、他の選択肢を全て削除した。

以上の前提に基づいて各個人の選択肢集合を特定化し、一方で、表 5-10 に定義した外生変数を用い、マルチロジットモデルの枠組みで推定した結果を表 5-11 に示す。まず、 χ^2 値、 ρ^2 値に着目すると、双方とも高い値をとっており、良好な適合度が得られていることがわかる。このような良好な適合度が得られた原因としては、多くの説明変数を考慮していることに加えて、

時間的制約や、自動車や自転車の駐車・駐輪に関する制約等に基づいて各個間の選択肢集合の差異を考慮したこと等が挙げられるものと考えられる。選択肢固有属性に着目すると、それぞれの機関での所要時間が全て負の符号となっている、乗り換え回数が電車の効用に負の影響を与える、自動車費用が自動車の効用に負の影響を与える等、妥当な結果となっていることが分かる。また、同一市区町村内のトリップは、自動車を利用する傾向が最も高く、次いで、自転車、徒歩の順番で利用傾向が弱く、鉄道利用が最も利用される頻度が少ない結果となった。その他、通勤トリップでは自転車の利用確率が最も高い、職場を起点とするループトリップでは、徒歩で移動する場合がもっと最も多い、等の傾向が読み取れる。

一方、目的地選択レベルにおける選択肢集合を近畿圏内の 174 市区町村とした。また、目的地選択も、活動内容選択、機関選択と同様に coupling constraints を考慮して、いずれの交通機関を用いても到達不可能な目的地を選択肢集合から削除した。さらに、個人の目的地選択肢集合には、様々な観測不可能な要因を原因として不確実な要素が多く含まれるものと考えられる。この選択肢集合の不確実性を考慮するために、プロビットモデルを適用し²¹⁾、モデル適用時における各個人の各地域の選択肢集合への帰属確率、すなわち、目的地として認知される確率を以下のように定式化した³⁾

$$P_{rec}^n(k) = \Phi(\mathbf{B}\mathbf{W}_{nk} - \theta) \quad (5-3)$$

ここに、

$P_{rec}^n(k)$: 個人 n が場所 k を自由活動場所として認識する確率
 B : パラメータベクトル
 θ : しきい値
 W_{nk} : 外生変数ベクトル
 $\Phi(\cdot)$: 標準正規分布関数

そして、この確率を用いて、選択肢集合の不確実性を考慮した推定計算を行った^{22), 23), 24)}。

以上の前提に基づいて、表 5-12 に定義した外生変数を用いて推定した結果を、表 5-13 に示す。なお、ProbG は ProbL と同様に、目的地での活動を実行する際の想定時間分布と、時空間プリズム制約より得られる目的地で実行可能な最大の活動時間（式（5-2）に示した D_{free} ）とに基づいて求めた。まず適合度に注目すると、極めて良好な値をとっていることが分かる。これは、モデル推定時にそれぞれの選択肢集合を種々の制約条件を考慮した上で特定化したこと、ならびに、トリップのみを対象とした解析では導入することができないプリズム制約や想定時間分布を考慮して算定される ProbG 等の活動パターンについての説明変数を用いたこと等が原因であったものと考えられる。この結果は、交通行動モデルを構築する際に、選択肢集合の個人の差異を十分に考慮することの重要性、ならびに、活動パターンを考慮することの重要性を示すものであると考えられる。また、ログサム変数に着目すると、0 および 1 からの t 値が双方とも有意となっており、交通機関選択肢の誤差項に共分散が存在すること、あるいは、交通機関選択効用が目的地選択行動に影響を及ぼしていることが分かった。また、現在存在している場所と同一の市区町村を選択する確率が、非常に大きいという結果となった。

（２） 交通機関・目的地選択モデルの適用方法

PCATS では、仮想個人の交通機関・目的地選択を以上に構築したモデルの同時選択確率に基づいて、交通機関選択をこのモデルの交通機関選択レベルの交通機関選択確率に基づいて、それぞれモンテカルロシミュレーション法で再現する。

ただし、交通機関選択肢集合については、推定時と同様に、1) 次の固定活動場所に到達不可能な交通機関は削除する、2) 営業時間帯以外では公共交通機関を削除する、3) その時点に存在している場所に自動車（自転車）が存在していない場合は自動車（自転車）を削除する、4) その場所に自動車（自転車）を駐車（駐輪）不可能な場合はそれ以外の交通機関を削除する、という形で特定化した。なお、PCATS において上記 3)、4) といった自動車利用についての

制約条件をモデルに導入することで、自動車保有 / 非保有、あるいは、通勤で自動車を利用する / 利用しないといった条件が、その個人の交通行動、生活行動全般に及ぼす影響を的確に分析することが可能となるものと考えられる。

一方、目的地選択肢集合については、1) 利用可能な交通機関のいずれを用いても到達不可能な地域は削除する、2) 式(5-3)を用いて各目的地について目的地の認知確率を求めてモンテカルロシミュレーションを実行して、その結果認知されなかった地域を選択肢集合から削除する、という形で特定化した。この様に、PCATS では、目的地・交通機関選択において、coupling constraints に加えて、種々の制約条件をモデルに導入している。この様な種々の制約条件は、時間軸上での個人の動きやそれに伴う自動車の存在位置を逐一再現することで、導入可能となったものと言える。

5.4 シミュレーションモデルの検証

ここでは、生活行動を不備なく回答した 437 人のダイアリーデータから得られた生活行動の実測値に基づいてシミュレーションを検定した結果について述べる。

まず、各個人について 100 回のシミュレーション計算を行い、図 5-1 に示した出力（全自由時間帯における活動と移動の要素）を計算した。すなわち、各個人について、100 個の生活パターンを算定した。そして、各個人について算定された 100 個の生活パターンデータから、以下の 4 つの変数を求めた。

- ・ 総移動時間
- ・ 自宅での自由活動総実行時間(以下、総在宅自由時間)
- ・ 自宅以外での自由活動総実行時間(以下、総宅外自由時間)
- ・ 自宅以外での自由活動を実行した総回数（以下、総宅外自由活動数）

そしてそれぞれの指標について、各個人毎に平均を求め、その平均値をその個人についての予測値とした。なお、このように 100 回の計算の平均値を用いるのは、シミュレーション内の各サブモデルで乱数を使用することで生じる一個人についての内生変数のばらつきを除去するためである。また、一人について 100 回のシミュレーション計算を行う際に要した時間はワークステーション Sparc 5 上でおおよそ 10 秒程度であった。

表 5-14 には、こうして得られた予測値分布と実測値分布との平均、それらが等しいという帰無仮説の下での t 値、および予測値と実測値との相関係数（重相関係数）を示した。表 5-14 より、総移動時間については、予測値と実測値との平均も近く、 t 値も低く、両者の平均には有意差がないことが分かる。しかし、それ以外の指標についてはいずれも t 値が大きい。PCATS では在宅自由時間を約 26 分過大に、総宅外自由活動数を約 0.2 回、宅外自由時間を約 17 分過小

に評価している。ただし、在宅自由時間、宅外自由時間の重相関係数はそれぞれ 0.70、0.51 と良好な値を示している。また、総宅外自由活動数については、重相関係数が 0.36 と他の指標と比較して十分に高い値を示しているとは言い難いが、これは、今回用いたサンプルには、総宅外自由活動数が 0 であるサンプルが多く含まれていたことが原因であると考えられる^[4]。ただし、総宅外自由活動数は、自由目的での交通発生量を直接意味する指標であり、従来の自由活動目的の交通発生モデルの適合度^{25)、26)}と比較しても、必ずしも低い水準であるとは言えない。

表 5-14 シミュレーションの検定結果

	予測値 平均	実測値 平均	t値	重相関 係数
総移動時間	133.06分	125.22分	1.44	0.68
総在宅自由時間	240.77分	267.35分	-2.45	0.70
総宅外自由時間	83.89分	66.46分	2.79	0.51
総宅外自由活動数	0.78回	0.58回	2.99	0.36

サンプル数：437

以上の検定結果より、PCATS では、総宅外活動数を過小に予測する一方で、総宅外自由活動数、総宅外自由時間を過大に予測する傾向にあるものの、移動時間については適切に再現していること、ならびに重相関係数に基づいて評価した場合にはシミュレーションモデル全体の適合度は必ずしも低いとは言えないことが分かった。

5.5 シミュレーションモデルの適用

本シミュレーションを用いて、表 5-15 に示す仮想的な個人の仕事終了時刻 17 時から、就寝時刻 22 時までの 5 時間にわたる自由時間帯における生活行動の軌跡を、

基本ケース) 生活環境に変化なし、

ケース 1) 仕事終了時刻が 18 時になる、

ケース 2) 自動車通勤時間が 30 分短くなる、

ケース 3) サービス事業所数が全ての市区町村において現状の 2 倍になる、

のそれぞれのケースにおいて 100 回ずつ再現した。そして、仕事終了後直接自宅に帰る場合を「直帰」、仕事終了後帰宅途上でいずれかの場所で自由活動を一回実行する場合を「寄り道」、仕事終了後直接自宅に帰り、その後外出して自由活動を一回実行して再び帰宅する場合を「外

出」，そして，それらのいずれでもないパターンを「その他」として，それぞれのパターンの再現頻度を求めた．それと共に，各ケースでの移動時間，在宅自由活動時間，宅外自由活動時間のそれぞれの平均を求めた．以上の計算結果を表 5-16 に示す．なお，現実的にはケース 3) の様に全ての市区町村におけるサービス事業所数が 2 倍にするという政策を実行するは不可能であるが，ここでの数値計算例は，いくつかのケースにおける仮想個人の生活パターンを PCATS により再現し，その傾向を把握することを目的とするものである．

表 5-15 仮想個人の属性と固定活動スケジュール

個人属性・世帯属性 54才，男性，会社員，世帯収入1500万円， 免許保有歴30年，世帯自動車保有台数1台
固定活動スケジュール 職場での仕事終了時刻：17時 自宅での終身時刻：22時 (ただし，居住地域：貝塚市，職場地域：大阪市北区) 通勤交通機関は，自動車に固定

表 5-16 仮想個人の生活行動の再現結果

	直帰	寄り道	外出	その他	移動時間平均	在宅自由時間平均	宅外自由時間平均
基本ケース	39回	53回	1回	7回	132.8分	101.6分	65.5分
ケース1	62回	26回	6回	6回	85.6分	125.2分	29.3分
ケース2	36回	38回	3回	23回	49.9分	171.6分	78.5分
ケース3	32回	45回	2回	21回	84.4分	151.0分	64.6分

終業時刻が 1 時間遅くなるケース 1) に着目すると，寄り道頻度が低くなる一方で，直帰頻度が高くなることが示されている．また，活動時間については，移動時間，宅外自由活動時間が短縮されている一方で，在宅時間は増加している．これらは，終業時刻が遅くなり，自由時間が短くなったことで，時空間内のプリズムが小さくなり，結果として宅外での自由活動を実行する確率が低下したことが原因であると考えられる．なお，PCATS では，プリズム制約によって活動内容選択や目的地選択，交通機関選択のそれぞれの選択肢集合を特定化しているだけでなく，それぞれの選択モデルで十分な活動時間が確保できないような場所，交通機関，活動内容の選択確率が低くなる，という効用関数が推定されている，これらによって，プリズムが小さい場合には，直帰の再現頻度が増加したものと考えられる．

通勤時間が 30 分短縮するケース 2) の場合は，直帰頻度が若干減少し，その一方で，その他の頻度が大きく増加していることが分かる．これは，通勤時間が短縮し，自由時間帯が増加す

ることで、多様な生活パターンを選択することが可能となったことが原因であると考えられる。ただし、移動時間が減少する一方で、在宅時間が増加していることが示されている。これは、通勤時間の短縮によって増加した自由時間が在宅に配分されたものと解釈できる。なお、ここでの数値計算では、非常に大きな在宅時間の増加率となつてはいるものの、在宅時間が増加するという点については第四章で述べた構造方程式モデルを用いた通勤時間短縮効果の分析で得られた結果と一致している。

このように、PCATS では、プリズム制約を明示的に考慮しており、終業時刻や通勤時間の変化による自由時間帯の増減に伴う活動パターンの変化を考慮することができるのである。

次に、サービス事業所数が全ての市区町村において 2 倍になるケース 3) に着目すると、ケース 2) と同様にその他の再現頻度が増加し、そして、移動時間が減少していることが分かる。これは、ケース 3) では、全ての地域においてサービス事業所数が増加したことで、基本ケースでは目的地として認知されていなかった地域も目的地として認知され、その結果として、帰宅途上、あるいは、自宅周辺においても様々な自由活動を実行することが可能になったことが原因であると考えられる。また、移動時間が減少したことで、結果として在宅時間が増加していることも示されている。

以上の仮想計算結果から、PCATS を用いることで、生活環境、交通環境の変化に伴う個人の交通行動の変化を、生活行動全般を再現することで分析可能であることが示された。

5.6 結語

本章では、的確な交通需要解析を行うためには、複数の活動についての場所や時間、内容といった種々の要素を考慮することが不可欠であるとの認識から、個人の生活行動を再現するマイクロシミュレーションモデル PCATS の構築を図った。このシミュレーションモデルは、第四章で述べた構造方程式モデルとは異なり、モデル化の対象を限定する必要が無い点、ならびに、交通機関選択を内生化しつつ地理的空間上ならびに時間軸上での行動軌跡を再現できるという点において、政策評価ツール、あるいは、総合的な需要解析ツールとしては、適用範囲の広いものであると考えられる。

本シミュレーションモデルでは、活動場所、内容、時間、交通機関といった非常に多くの要素から構成される生活パターンを効率的に生成することを目的として、個人の意思決定過程として逐次的、段階的な意思決定過程を仮定した。そして、個々の意思決定を、活動内容選択モデル、交通機関・目的地選択モデル等の複数のサブモデルでモデル化し、それらを組み合わせることで行動マイクロシミュレーションモデルを構築することとした。これらのサブモデルを用いて個々の意思決定を再現するにあたり、それぞれの選択肢集合を、現在位置と時刻、次の固定活動の開始時刻と場所に基づいて特定化される時間的、空間的な制約条件、および、coupling constraints を明示的に考慮した上で特定化した。また、各効用関数の中には、時間的、空間的制

約条件から導かれる種々の指標を導入し、制約条件下での意思決定の再現を図った。

個々のサブモデルは、ダイアリー調査から得られたデータに基づいて構築した。特に、交通機関、目的地選択モデルを構築した際に得られた適合度は極めて高いものであった。このことから、交通行動モデルを構築する際には、生活行動を考慮することが重要であること、ならびに、プリズム制約、自動車の利用可能性等の種々の制約条件を考慮することが重要であることが分かった。

また、実測値を用いたシミュレーションモデルの検定計算からは、移動時間については適切な再現がなされているが、在宅自由時間を過小に、宅外での自由活動数、自由時間のそれぞれを過大に予測していることが示された。この結果は、本モデルが未だ発展の途上にあり、活動内容選択モデルを再推定するなど、様々なモデル改良が必要があることを示している。しかし、予測値と実測値との重相関係数については、良好な値が得られていることが分かった。それに加えて、仮想的な状況を設定して仮想的な個人の生活行動の軌跡を再現した計算結果からは、従来のアプローチでは評価することが困難であった移動時間の増減や勤務時間帯の変化等が生活行動全般に及ぼす影響を評価できることが分かった。

この行動マイクロシミュレーションモデルの今後の課題としては、具体的な交通政策の評価に適用するために、より多くの交通政策を評価するための検討を行うと共に、シミュレーションの予測精度の向上を図るための各サブモデルの再推定等が必要になるものと考えられる。また、活動場所、時間、内容、交通機関といった多岐にわたる意思決定を簡便に再現するために、逐次的、段階的な意思決定過程を仮定したが、この仮定の妥当性に検討を加えることが必要であるものと考えられる。ただし、この逐次的、段階的な意思決定過程を仮定したことで、計算コストが削減され、それによって、各種の政策が個人の生活行動に及ぼす影響を、現実的な計算コスト制約の下で総合的に解析することが可能となったものと考えられる。

注

- [1] 以下の , , より, 仮想個人の個々の活動の開始時刻, 終了時刻, 内容, 場所, ならびに, 移動の出発時刻, 到着時刻, 目的地, 出発地, 移動時間は, 個々の活動の活動の場所, 時間, 内容と個々の移動の交通機関の 4 項目を意思決定することで特定される.

個々の活動の開始・終了時刻, 個々の移動の出発時刻, 到着時刻のそれぞれは, 自由時間帯の初期時刻(入力データとして与えられるその自由時間帯の直前の固定活動終了時刻時刻)と連続する個々の活動時間, 移動時間で特定される.

個々の移動の出発地, 目的地は, それらの移動の前後の活動場所に等しい.

本章では, 個々の移動の移動時間は, 交通機関機関, 出発地, 目的地と入力データである交通ネットワーク属性によって一義的に決定されるものと仮定している.

- [2] より望ましい条件を満たす推定値を得るためには, 同時推定法を用いた推定計算を行うことが望ましい. しかし, 今回の推定計算では, 種々の外生変数が選択行動に及ぼす影響を考慮するために非常に多くの未知パラメータを同時に推定することが必要であった. したがって, 同時推定でそれらの全ての未知パラメータを同時に推定することが困難であったため, 段階推定法を用いて各未知パラメータを推定することとした. 同様の理由から, 交通機関・目的地選択モデルを構築するにあたって段階推定法を用いた.

- [3] 式(5-3)の W_{mk} としては, 移動抵抗を表す指標として, 地域 k に訪れる直前に存在していた場所 k' から地域 k に移動する時間と, 地域 k' から直接次の固定場所に移動する際の移動時間の差 Δ_{incT} を, 目的地の魅力度を表す指標として 地域 k のサービス事業所数 $Serve_k$ を考えた.

式(5-3)で定義したパラメータ B_k を推定する方法としては, 各個人について選択肢となりうる目的地を全て想定してもらい, それらのうちのいずれが選択肢として認知されているか, というデータを用いるという方法が挙げられる. しかし, 本章では 174 個もの選択肢を全集号として考慮していることから, このように各個人について選択肢集合についての情報を収集することが困難であった. その他の方法として, 十分に大きなサンプルを用いて, 集計的観点から選択肢の認知についての傾向を把握するという方法が挙げられる. 本研究では, 直接的に個人の選択肢集合についての情報が得られなかったため, 平成 3 年度パーソントリップデータを用い, 後者の方法を用いてパラメータ B_k を推定することとした. すなわち, パーソントリップデータから全ての自由活動のトリップデータを抽出し, そのトリップ頻度に関する上記の 2 つの指標を要因とするクロス集計表を作成した. なお, いずれの指標についても, 最大値と最小値を求め, その幅を 10 等分することで, 100 個のセルから構成されるクロス集計表を作成した. そして, クロス集計表の各セルを観測ケースとして, 頻度 0 のセルは選択肢集合に含まれない, それ以外のセルは含まれると仮定して, プロビットモデルの枠組みでパラメータ B_k を推定した. 推定結果を表 5-A に

示す．表 5-A より， χ^2 から良好な適合度が得られていること，ならびに，より近く，そして，サービス事業所数のより多い地域は，個人により認知されやすい傾向にあることが分かる．

表 5-A パラメータ B， θ の推定結果

	パラメータ	t値
	0.47	0.92
<i>Serve</i>	0.42	3.92
<i>IncT*</i>	-0.38	-4.79
Sample Size		100
χ -square		81.61

*:時間

[4] 一般に，0 が多く含まれる変数は，重相関係数が小さくなる傾向がある．

第五章 参考文献

- 1) 藤井 聡, 大塚祐一郎, 北村隆一, 門間俊幸: 時間的空間的制約を考慮した生活行動軌跡を再現するための行動シミュレーションの構築, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp. 643-652, 1997.
- 2) Kitamura, R. and Fujii, S: Two computational process models of activity-travel behavior. In T. Garling, T. Laitila and K. Westin (eds.) *Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling* (forthcoming), 1997.
- 3) Axhausen K. W. and R. Herz, Simulating Activity Chains: German Approach, *Journal of Transportation Engineering*, **12**, pp. 324-341, 1989.
- 4) Kitamura, R. and M. Kermanshah: Identifying Time and History Dependencies of Activity Choice, *Transportation Research Record*, **944**, pp. 22-30, 1983.
- 5) Kitamura, R. and M. Kermanshah: Sequential Model of Interdependent Activity and Destination Choices, *Transportation Research Record*, **987**, pp. 81-89, 1984.
- 6) Kondo, K.: Estimation of Person Trip Pattern and Modal Split, In D.J. Buckley (ed.) *Transportation and Traffic Theory*, pp. 715-742, Reed, Sydney, 1974.
- 7) Kitamura, R. and Lam, T.N.: A Time Dependent Markov Renewal model of Trip Chinning, In V.F. Hurdle, E. Hauer, and G.N. Steuart (eds.) *Transportation and Traffic Theory*, University of Toronto Press, Toronto, pp. 376-402, 1983.
- 8) Garling, T., K. Brannas, J. Garvill, R.G. Golledge, S. Gopal, E. Holm and E. Lindberg: Household Activity Scheduling. presented at the Fifth World Conference on Transport Research, Yokohama, 1989.
- 9) Ettema, D., A. Borgers and H. Timmermans, SMASH (Simulation Model of Activity Scheduling Heuristics): Some Simulations, *Transportation Research Record*, **1551**, pp. 88-94, 1996.
- 10) Kitamura, R., Pendyala, R.M., Pas, E.I.: Application of AMOS, An Activity-Based TCM Evaluation Tool to the Washington, D.C., Metropolitan Area, *Proceedings of Seminar E held at the PTRC European Transport Forum*, Vol. P392, pp. 177-190, 1995.
- 11) Hagerstrand, T.: What about People in Regional Science? *Papers of the Regional Science Association*, **23**, pp. 7-21, 1970.
- 12) 近藤勝直: トリップチェーン形成過程のプリズム効果モデル, 土木学会論文集, No. 377 /IV-6, pp. 71-78, 1987.
- 13) 西井和夫, 近藤勝直: 鉄道利用通勤者の時空間プリズムに着目した交通パターン分析, 土木計画学研究・論文集, No. 7, pp. 139-146, 1989.
- 14) Lindh, C., Dellaert, B. and Ettema, D.: Longer Term Activity Scheduling of Overnight Long Distance Trips: A Longitudinal Telephone Survey, prepared for Activity-Based Approaches: Activity Scheduling and the Analysis of Activity Patterns, Eindhoven, The Netherlands, 1995.
- 15) 大橋靖雄, 浜田知久馬: 生存時間解析東京大学出版会, pp. 18-24, 1995.
- 16) Kim, S.G and F.L. Mannering: Panel Data and Activity Duration Models: Econometric Alternatives and Applications, in T.F. Golob, R. Kitamura and L. Long (eds.), *Panels for*

Transportation Planning, Methods and Applications, Kluwer Academic Publishers, pp. 349-374, 1997.

- 17) Bhat, C.R: A Hazard-Based Duration Model of Shopping Activity with Nonparametric Baseline Specification and Nonparametric Control for Unobserved Heterogeneity, *Transportation Research*, **30B**, pp. 189-208, 1996.
- 18) 森地茂, 兵藤哲朗: 時間軸を考慮した観光周遊行動に関する研究, 土木計画学額研究・講演集, No. 10, pp.63-70, 1992.
- 19) 森川高行, 佐々木邦明, 東力也: 観光系道路網整備評価のための休日周遊行動モデル分析, 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 539-547, 1995.
- 20) Maddala, G.S.: Limited Dependent and Qualitative Variables in Econometrics, Cambridge University Press, PP.149-196, 1983.
- 21) 森川高行・竹内博史・加古裕二郎: 定量的観光魅力度と選択肢集合の不確実性を考慮した観光目的地選択分析, 土木計画学研究・論文集, No. 9, pp. 117-124, 1991.
- 22) 藤井 聡, 北村隆一, 長沢圭介: 選択肢集合の不確実性を考慮した生活行動モデルに基づく地域評価・政策評価指標の開発, 土木学会論文集, -投稿中-, 1997.
- 23) 長沢圭介, 藤井 聡, 北村隆一: 効用理論に基づく生活パターン選択行動を考慮したアクセシビリティ指標の開発, 土木計画学研究・講演集 No. 19, pp. 341-344, 1996.
- 24) Ben-Akiva, M., and Lerman, S.R.: *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, pp. 217-252, 1985.
- 25) 藤井聡, 木村誠司, 北村隆一: 選択構造の異質性を考慮した生活圏推定モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp.613-622, 1996.
- 26) 荒木敏, 藤井聡, 北村隆一: 交通行動分析に基づいた個人の生活圏に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 17, pp. 35-38, 1995.

第六章 SP データを用いた効用理論に基づく生活行動モデルの構築についての基礎的考察¹⁾

6.1 序言

6.1.1 効用理論に基づいた生活行動モデルの必要性

前章，第五章で述べたシミュレーションモデルでは，活動内容，場所，時間といった様々な要素で規定される生活パターンの意思決定行動を簡便にモデル化するために，逐次的な意思決定過程を仮定した．しかし，個人が常に，生活行動について逐次的な意思決定を常に行っているとは考えがたい．また，PCATS では，活動時間分布，活動内容選択，交通機関・目的地選択をそれぞれ個別にモデル化し，それらを組み合わせるという形で意思決定過程を再現しているが，それらの意思決定がそれぞれ独立であるとは考えがたい．さらに，活動時間を再現するために適用した Duration Model は，個人の意思決定の結果を再現するモデルであり，意思決定を直接的に再現するモデルではない．

これらの問題点に対処するためには，個人の生活行動の意思決定をいくつかのサブモデルを組み合わせることで逐次的に再現するのではなく，統一的に，かつ，直接的に再現するアプローチが必要となるものと考えられる．第二章で述べたように，個人の生活行動を再現するモデルとして様々なものが従来においても提案されているが，その中でも，個人の意思決定を統一的に，かつ，直接的に再現する理論的枠組みとして，制約条件化での効用最大化を仮定したモデルが挙げられる．効用理論に基づいたモデルの最も大きな特徴は，個人は制約条件の下で効用を最大化するように生活行動を行っている，という極めて簡素な行動原理を仮定することで，複雑な生活行動についての選択問題を取り扱うことが可能である点である．すなわち，Duration モデルや重回帰モデルとは異なり行動論的な根拠を与えた形で活動時間の選択をモデル化することができるばかりでなく，活動時間，内容，場所，交通機関といった個々の意思決定を個別にモデル化することなく，それらの間の相互作用，トレードオフを考慮できる点が効用理論に基づいたモデルの大きな特徴である．したがって，効用理論の枠組みで生活行動モデルを構築することで，先述の PCATS において問題となった複数の意思決定を独立と扱うこと，活動時間の意思決定を直接モデル化できないこと，といった課題点に対処できるものと期待されるのである．

さらに，選択行動によって得られる効用の期待値を定式化することができるという点も，効用理論に基づいて生活行動モデルを構築することの大きな特徴の一つである．こうして定式化される生活行動の実行に伴う効用の期待値は，本研究の目的の一つである個人の生活の質を考慮した政策評価指標として位置づけることができるものと考えられる．なお，本章以降，個人の生活行動を効用理論で取り扱うにあたって，個人の生活行動の背後に想定する効用を生活効用，その期待値を期待生活効用と呼ぶこととする．そして，生活効用に基づいた個人の行動モデルを生活効用モデルと呼ぶ．

6.1.2 効用理論に基づいた生活行動モデルの課題点

この様に効用理論に基づいた生活行動モデルには、様々な長所があるものと考えられる。しかし、その一方で、効用理論に基づいて生活行動モデルを構築するにあたっての課題点も、いくつか存在するものと考えられる。

(1) 離散-連続モデルの必要性

まず、一つ目の課題点としては、離散変数である目的地や交通機関と、連続変数である活動時間といった様々な要素で規定される生活パターンについての選択問題を統一的に記述することが必要である点である。第二章で既に述べたように、従来の研究においては、Supernak²⁾やKraan³⁾等が連続的な変数である活動時間の配分モデルを効用理論で構築し、その一方で、Adler and Ben-Akiva⁴⁾、Recker et al.⁵⁾・⁶⁾、河上ら⁷⁾等が生活パターンの離散選択モデルを構築しており、離散選択問題と連続選択問題とを取り扱う行動モデルが別個に構築されている例が多い。両者を融合したモデルの枠組みとしては離散-連続モデルの枠組みが適当であるものと考えられるが、この枠組みで構築されたモデルとしてはHamed & Mannering⁸⁾が構築した、勤務終了後に直接帰る(直帰)かどこかに立ち寄る(非直帰)かという二項離散選択と、非直帰の場合の移動時間についての連続選択の双方を内生化した離散-連続モデルが挙げられる。このモデルについても、交通機関や活動場所といった選択問題を内生的に取り扱うためには、さらなる拡張が必要であるものと考えられる。特に、移動時間は交通機関と立ち寄り活動場所との双方に大きく依存する変数であることを考えると、整合的にこれらの変数についての選択問題を取り扱うためには、種々の工夫が必要となるものと予想される。その他の離散-連続モデルとしては、Kitamura⁹⁾、Kitamura et al.¹⁰⁾のモデルも挙げられる。このモデルでは、配分される活動時間が0となる活動は実行されない、という自明の關係に着目して、連続変数の選択問題を定式化することで、結果的に離散選択問題を取り扱う、というアプローチを用いている。この方法の長所は、時間資源の配分問題を定式化することで、活動の参加についての選択問題と、活動時間の選択問題の両者をモデル化することができる、という点である。しかし、その一方で、時間配分問題の結果として表現することの困難な活動場所や交通機関についての選択問題を内生化するためには、さらなるモデルの拡張が必要とされるものと考えられる。この他にも、池田ら¹¹⁾や熊田ら¹²⁾、そして、室町ら¹³⁾・¹⁴⁾や森杉ら¹⁵⁾も、いくつかの目的地への来訪頻度を内生化するという形で、離散的な目的地の選択と連続的な来訪頻度についての選択を離散-連続モデルの枠組みで構築しているが、これらのモデルはいずれも、ある個人が複数回繰り返実行した交通行動を一定期間で集計して得られる目的地別の来訪頻度を予測することを目的とするものである。したがって、定式化における基本的な考え方を参考にすることはできるものの、一日生活パターンにおける活動の順番や活動場所、活動時間についての選択問題に直接的に適用することはできない。

(2) 極めて大きな選択肢集合の取り扱いについて

二つ目の課題点として挙げられるのが、生活パターンの選択肢集合が極めて大きなものとなる、という点である。例えば、1つの活動についての活動場所と活動内容とその前後のトリップの交通機関の組み合わせの選択行動において、活動場所のカテゴリー数を m 個、活動内容のそれを n 個、交通機関のそれを l 個と考えるだけでも、選択肢の数は、

$$m \times n \times l^2$$

にもなる。これに加えて、活動数も決定変数とした場合には、その最大値を J とすると、

$$\sum_{j=1}^J \{(m \times n)^j \times l^{j+1}\}$$

にも選択肢数が膨れ上がる。第五章で述べた PCATS では、活動場所として 174 個、活動内容として 7 個、交通機関として 4 個を考慮しているが、これらについての同時的な選択モデルの構築を目指した場合には、最大の活動数を仮に 5 と定義するだけでも、選択肢数は約 $4.26\text{E}+18$ 個という天文学的数字になってしまう。ただし、実際の選択肢集合には様々な制約条件が存在するため、この数字は選択肢集合数の最大値を示すものではある。しかし、それを差し引いたとしても選択肢数が膨大となるのは想像に難くない。それに加えて、もし仮に活動時間を離散変数という形で決定変数として考慮する場合には、選択肢集合はより大きなものとなる。

この様に極めて大きな選択肢集合が想定される選択肢行動を対象とした行動モデルの構築と適用を目指す場合には、以下の 4 つの方法論について、十分な検討を加えることが必要であるものと考えられる。

- 1) 効用関数の推定計算の際に用いる選択肢集合を設定する方法論
- 2) 需要予測時に、選択肢集合の不確実性を考慮しつつ、対象個人の選択肢集合を特定化する方法論
- 3) 需要予測時に、極めて大きな選択肢集合の中から、効率的に最大の効用を与える選択肢集合を検出する方法論
- 4) 期待生活効用算定時に、選択肢集合の不確実性を考慮する方法論

まず、1) についてであるが、離散変数についての選択問題を連続変数の配分問題という形で定式化¹⁰⁾しない場合には、効用関数の未知パラメータを推定するために一般的に必要とされる情報は、選択肢集合とそこから選択結果、ならびに、その選択に影響を及ぼす変数群、の 3 つである。しかし、生活パターンの選択肢集合が極めて大きいことを考えると、ダイアリーデータから個人の実際の行動パターンの背後にある選択肢集合の全集号を観測することは現実

的には不可能であるものと考えられる。また、ダイアリーデータを回答する際の負担が大きいことを考えると、実際の生活パターンに加えて、実際には行っていない生活パターンについて調査することも、困難であるといわざるを得ない。したがって、パラメータを推定するためには、何らかの工夫を施して、上記の選択肢集合、選択結果、要因群の3者のデータを収集することが必要となるのである。

次に、上記の検討事項1)について何らかの形で対処し、効用関数を特定したとしても、その効用関数に基づいて需要予測を行うためには、何らかの方法で各個人についての選択肢集合を特定化することが必要となる。そして、その際、全ての選択肢を個人が認知しているとは考えがたいという点を考慮すると、選択肢集合についての不確実性を考慮することも重要な課題であるものと考えられる。これらの点について検討する必要がある、というのが上記の検討事項2)である。

また、個人の選択肢集合を特定したとしても、先述の様に天文学的数字にもなる生活パターンの中から総当たり法で最大の効用を与える選択肢を検出するためには、膨大な計算コストが必要であることが予想される。したがって、需要解析ツールとしての実用可能性を考慮した場合には、効率的に最大の効用を与える選択肢を検出する方法論について十分に検討する必要があるものと考えられる。これが、検討事項3)である。

そして、4)は、選択肢集合に不確実性が存在する場合にどのような形で期待生活効用を算定すべきか、という定式化上の問題と、極めて大きな選択肢が存在する場合の期待生活効用の算定における計算コストの問題の両者について検討を加える必要がある、ということを主張するものである。

6.1.3 本研究における効用理論に基づいた生活行動モデルの構築方針

このように、効用理論に基づいた生活行動モデルには、様々な長所が存在する一方で、需要予測ツールや期待生活効用の算定にあたっては、いくつかの課題点が存在するのである。本研究では、前節で述べたいくつかの課題点について、本章、次章（第七章）、次々章（第八章）でそれぞれ対処していくこととする。次章では、効用理論に基づいて個人の生活行動軌跡を生成する需要解析ツールを提案し、そして、次々章では、期待生活効用を算定する方法論を提案することを目指す。

本章は、次章、次々章のそれぞれでの研究の前段階として、効用関数の定式化、未知パラメータの推定、需要予測への適用、政策評価への適用、といったそれぞれについての基礎的な検討を加えることを目的とするものである。前節の課題（2）の1）、すなわち、推定計算のための選択肢集合をどのような形で設定するか、という点については、仮想的な生活パターンの選択肢集合を被験者に提示してSPデータ¹⁶⁾を収集して、それを用いてパラメータの推定を行う、という方法を用いることとした。こうした方法でパラメータを推定することで、個人の生活パターンに対する嗜好の基本的な傾向を把握することを目指した。そして、前節の課題（1）、すなわち、連続的な活動時間と離散的な活動場所等を同時に扱う方法論については、活動時

間についての資源配分モデルと、活動場所、内容等についての離散選択モデルを統合した離散-連続モデルの枠組みを提案した。また、仮想的な個人、ネットワークを想定し、また、推定された効用関数を用いて簡単な数値計算を行うことで、本章で提案する離散-連続モデルの適用方法についての検討を加える。それに加えて、期待生活効用の算定例を示すことで、政策評価方法についても基礎的な検討を加えることとした。

6.2 生活効用モデルの概要

6.2.1 生活効用関数の定式化にあたっての基本的な考え方

生活効用モデルは、個人の1日の生活パターンを再現することを目指すものである。当然ながら、対象期間を1日ではなく、数時間という形で定義し、就業者の勤務終了から就寝までの生活パターン、あるいは、休日の午後の生活パターン等に生活効用モデルを適用することは可能である。しかし、数日、数ヶ月、数年という形で生活効用を定義することは、定義上可能であっても、その定義に基づいた生活効用モデルを実用化することはできない。なぜなら、個人が数日、数ヶ月、数年といった期間内での個々の活動の活動場所や内容についての意思決定を行っているとは、到底考えられないからである。それに加えて、いかに計算機的能力が向上しようとも、対象期間を延長した場合には、計算機が扱える程度の選択肢数には収まりそうにもない。以上より、生活効用関数を定式化するにあたっての対象期間を、おおむね1日以下とする。

1日の生活効用関数を定式化するにあたって、本研究では、個人に与えられた時間を、活動というサービス(以下活動サービス)を生産するための希少性を持った資源と捉える。そして、個人は与えられた時間資源から活動サービスを自己生産し、それを消費することで効用を得るものと考えた。この考え方は、ミクロ経済学のアプローチで個人の余暇時間をモデル化する際に前提とする一般的な考え方であり^{17),18)}、交通解析の分野でも先に示した Supernak²⁾、Klaan³⁾、Kitamura et al.¹⁰⁾等がこれを前提とした分析を行っている。これらの研究では、単位時間を追加的に消費することで得られる生活効用、すなわち生活限界効用はその時点で実行している活動の内容や個人の属性によって異なるものと仮定されている。本研究でもこれらの仮定が妥当であるものと考え、同様の仮定をすることとする。

一方、個人のある期間における生活パターンの意思決定には、上述の対象期間内に実行した活動サービスの特性のみが影響を及ぼすとは考えがたい。ある日の出勤時刻はその前日の睡眠時間に影響を及ぼすであろうし、労働による収入はその収入で後日購入する何らかの財・サービスの量に影響を及ぼすであろう。そして、個人はより十分な睡眠時間やより多くの財・サー

ビスを消費することを選択する傾向にあると考え、出勤時刻や収入は、当日の時間資源から生産される活動サービスの消費とは異なった形で、生活パターンの選択に影響を及ぼしているものと考えられる。

6.2.2 生活効用関数の定式化

前項に述べた考え方に基いて、生活効用関数を当日の活動サービスの消費に伴う効用を示す項と、当日の活動サービスの消費を伴わない効用を示す項とで構成されるものと考えた。そして、時刻 T_{s_i} から時刻 T_{e_i} までの生活効用を以下のように定式化した。

$$U_i = UC_i + UE_i \quad (6-1)$$

ここに、

U_i : 個人 i の時刻 T_{s_i} から時刻 T_{e_i} までの生活パターンの生活効用

UC_i : 個人 i が時刻 T_{s_i} から時刻 T_{e_i} までの時間資源から生産した活動サービスを消費することで得る効用

UE_i : 時刻 T_{s_i} から時刻 T_{e_i} までの時間帯における活動サービスの消費を伴わない効用

UC_i は、個々の活動サービスを消費することで得られる効用の総和であると考え、以下のよう定式化する。

$$UC_i = \sum_{k=1}^K UA_{ik} \quad (6-2)$$

ここに、

k : 活動番号 ($k=1, 2, \dots, K$)

UA_{ik} : 個人 i が活動 k を実行したことで得た効用

ここで、活動 k の効用 UA_{ik} を、限界効用関数を用いて定式化すると、以下となる。

$$UA_{ik} = \int_0^{TD_{ik}} MU_{ik}(t) dt \quad (6-3)$$

ここに、

$MU_{ik}(\bullet)$: 個人 i , 活動内容 k についての限界効用関数

TD_{ik} : 個人 i の活動 k の活動時間

一般に , 限界効用は財の消費量 (= 経過時間 t) , その財の種類 (= 活動内容 k) , および消費者 (= 個人 i) によって異なった値となると考え , $MU_{ik}(\bullet)$ を以下のように定式化した .

$$MU_{ik}(t) = a_{ik} f_k(t) \quad (6-4)$$

ここに ,

a_{ik} : 個人 i と活動 k に固有の係数

$f_k(\bullet)$: 活動内容 k に固有の関数

なお , 係数 a_{ik} は , 個人 i の個人属性と , 活動 k の属性に影響を受けるものとする . ここで ,

$$F_{ik} = F_k(TD_{ik}) - F_k(0) \quad (6-5)$$

ここに ,

$$F_k(\bullet) : f_k(\bullet) \text{ の一階の導関数 } \quad (F_k(x) = \int f_k(x) dx)$$

なる変数 F_{ik} を定義すると , 式 (6-3) , (6-4) , (6-5) より ,

$$UA_{ik} = a_{ik} F_{ik} \quad (6-6)$$

そして , 式 (6-2) , (6-6) より ,

$$UC_i = \sum_{k=1}^K a_{ik} F_{ik} \quad (6-7)$$

となる .

一方 , 式 (6-1) の UE_i を以下のように定式化する .

$$UE_i = \mathbf{B}\mathbf{X}_i + \varepsilon_i \quad (6-8)$$

\mathbf{B} : パラメータベクトル

\mathbf{X}_i : 個人 i の実行する生活パターンの属性についてのベクトル

ε_i : 誤差項

式 (6-1) , (6-7) , (6-8) より , 生活効用 U_i は ,

$$U_i = \sum_{k=1}^K a_{ik} F_{ik} + \mathbf{B}\mathbf{X}_i + \varepsilon_i \quad (6-9)$$

6.2.3 生活効用に基づいた個人の意思決定についての仮定

生活効用モデルでは , 個人は , 時間的な制約条件や交通機関の利用可能性などの制約条件下 , 式 (6-9) の様に定式化された生活効用の最大化を行っているものとする . その際 , 個人は次の 3 つの段階を経て生活効用の最大化を達成しているものと考えた :

段階 1) 個人は時間制約や交通機関の利用可能性などの制約条件下で実行可能な活動連鎖パターンを想定する (なお , ここでは , 生活パターンを規定する要素のうち , 連続変数である活動時間を除くそれ以外の全ての要素の組み合わせ , すなわち , 来訪場所や活動内容 , およびその順番といった離散的な要素の組み合わせを , 活動連鎖パターンと呼ぶ) .

段階 2) 想定されたそれぞれの活動連鎖パターン毎に , それらに含まれる複数の活動に利用可能な時間を最適に配分することで , 生活効用を最大化する .

段階 3) 実行可能な複数の交通連鎖パターンの中で , 最大の生活効用を与える交通連鎖パターンを選択する .

ここで , 個人の意思決定における段階 1 は , 活動連鎖パターンの形成についての意思決定を意味しており , 段階 2 は , その活動連鎖パターンが所与として与えられた場合における , 時間資源の最適配分についての意思決定を意味する . そして , 段階 3 は交通連鎖パターンの離散選択についての意思決定を意味している .

なお , 「この意思決定過程で検出される」という生活パターンについての条件は , 「実行可能な生活パターンの中で最大の効用を与える」とい生活パターンについての条件に比べて十分条件である . すなわち , この意思決定過程以外にも効用最大化を達成する方法はいくつか考えられるが , この意思決定過程を用いても , 効用最大化を達成することができるのである^[1] . そして , 効用原理の枠組みで想定される期待生活効用を算定するにあたって , この段階的な意思決定過程以外の方法を用いて算定することも可能であるが , この仮定に基づいても期待生活効用を算定することが可能なのである . したがって , ここに示した意思決定過程は , あくまでも最大の生活パターンを検出するために , そして , 期待生活効用を算定するために計算上便

宜的に想定するものであり、効用最大化原理の仮定に加えて、新たに追加される仮定ではないのである。

6.2.4 生活効用関数を用いた交通需要予測手法と政策評価手法

前節で述べた様に個人の意思決定過程を仮定すると、前々節で定式化した生活効用関数が特定化されており、かつ、適切な情報が入手されている限りにおいては、個人の生活行動パターンを確率的に予測すること、すなわち、生活行動全般を考慮した上で交通需要を予測することが可能となる。それに加えて、政策評価の基礎指標となりえるものと考えられる個人の生活効用の期待値、すなわち、期待生活効用を算定することもできる。

生活効用関数に基づいて交通需要予測を行うためには、まず、対象個人のそれぞれについて、時間的制約や交通機関の利用可能制といった、生活行動を実行するにあたっての制約条件についての情報を入手することが必要である。そして、これらの情報を用いて、対象個人が実行可能な活動連鎖パターンの集合を特定化する。なお、この作業は、前節で述べた意思決定における段階1)に対応するものである。

一方、各個人は実行可能な活動連鎖パターンのそれぞれについて、最大の効用が得られるように各活動に利用可能な自由時間を最適に配分する、と前節で述べたように仮定するが、これを定式化すると以下ようになる。

$$U_{il}(TD_{il,1}, TD_{il,2}, \dots, TD_{il,K}) \quad \max \quad (6-10)$$

$$\text{S.T. } FTD_{il} = \sum_k TD_{il,k} \quad (6-11)$$

ここに、

$U_{il}(\cdot)$: 個人 i の活動連鎖パターン l の生活効用関数 (式 (6-9) に定式化した生活効用関数を、活動時間の関数として表記したもの)

$TD_{il,k}$: 個人 i の活動連鎖パターン l の活動 j の活動時間

FTD_{il} : 個人 i の活動連鎖パターン l で利用可能な総自由時間

なお、この総自由時間 FTD_{il} は、個人 i の活動連鎖パターン l の形態によって一義的に定義されるものである^[2]。この最適化問題を解くと、以下の式が誘導される。

$$\frac{\partial U_{il}(TD_{il,1}, TD_{il,2}, \dots, TD_{il,K})}{\partial TD_{il,k}} = K_{il} \quad \forall i, l, k \quad (6-12)$$

この式 (6-12) と式 (6-11) の双方を用いて、 $TD_{il,k}$ ($\forall i, l, k$) を解くことで、それぞれの活動

連鎖パターンについて、最適な時間配分を算定することができる。以下、個々の活動連鎖パターンについて算定される最適な配分時間を、 $TD_{il,k}^*$ ($\forall i, l, k$) と表記する。

さて、ここで、式(6-5)、(6-9)に活動連鎖パターンのついで引数 l を導入したものに、以上の様にして求めた $TD_{il,k}^*$ を代入すると、以下の式となる。

$$U_{il} = \sum_{k=1}^K a_{il,k} \{F_k(TD_{il,k}^*) - F_k(0)\} + \mathbf{B}\mathbf{X}_{il} + \varepsilon_{il} \quad (6-13)$$

ここで、前節の段階 3) で述べたように、個人は最大の効用を与える活動連鎖パターンを選択するものと仮定し、かつ、誤差項 ε_{il} を互いに独立で同一のガンベル分布に従う確率変数であると考え、個人 i が活動連鎖パターン l を選択する確率 $P_i(l)$ は、

$$P_i(l) = \frac{\exp \left[\sum_{k=1}^K a_{il,k} \{F_k(TD_{il,k}^*) - F_k(0)\} + \mathbf{B}\mathbf{X}_{il} \right]}{\sum_j \exp \left[\sum_{k=1}^K a_{ij,k} \{F_k(TD_{ij,k}^*) - F_k(0)\} + \mathbf{B}\mathbf{X}_{ij} \right]} \quad (6-14)$$

となる。この式より、個人の活動連鎖パターンの選択肢集合、ならびに、係数 $a_{il,k}$ 、導関数 $F_k(\cdot)$ 、パラメータベクトル \mathbf{B} 、外生変数ベクトル \mathbf{X}_{il} が既知であれば、個人の生活パターン選択確率が求まり、モンテカルロシミュレーション法等によって、各個人の生活パターンを生成することができる。なお、当然ながら、生活パターンには、トリップ数や、各トリップの目的地や交通機関、そして、出発時刻についての情報が含まれている。したがって、ここに述べた方法を用いて、従来では別々にモデル化されていた交通行動の個々の局面を統一的に予測することができるものと考えられる。また、前節で述べたような 3 つの段階の意思決定過程を仮定することで、連続変数である時間と、離散変数であるトリップ数、目的地、交通機関といった個々の生活パターンの要素を、同時的に取り扱うことができる。この点において、ここで示した生活効用モデルは、離散-連続モデルと見なすことができる。

一方、段階 2) で設定した活動連鎖パターンの離散選択問題を、上述のようにガンベル分布を仮定したランダム効用理論、いわゆるロジットモデルの枠組みで定式化した場合、その選択行動に伴って得られる効用の期待値を以下の式で算定することができる。

$$EU_i = \ln \left[\sum_j \exp \left[\sum_{k=1}^K a_{ij,k} \{F_k(TD_{ij,k}^*) - F_k(0)\} + \mathbf{B}\mathbf{X}_{ij} \right] \right] \quad (6-15)$$

ここに、

EU_i : 個人 i の生活効用の期待値 (期待生活効用)

ここで、前々節で述べた様に生活効用関数は、例えば 1 日といった限られた時間帯ではあるものの、その時間帯における生活パターンの実行に伴って得られる効用を定式化したものである。消費者にとってのある財やサービスの効用をその個人がその財・サービスを消費した際の満足の程度と解釈するならば、式 (6-15) に定式化した期待生活効用は、交通環境や社会環境、家族環境などのいくつかの条件の下で、その個人が 1 日の生活を通じて得られる平均的な満足の程度を表すものと考えられる。そして、交通政策の実施前、実施後の双方で、各個人の期待生活効用を算定し、両者の差を算定することで、それぞれの個人にとって、「生活を営む上で、平均的な満足の程度が向上したのか or 低下したのか」を把握することができる。

ただし、現実的には、分析者が、生活効用関数に個人の生活の満足の程度を規定する全ての情報、例えば、その日に読んだ小説や観た映画の質や、誰とどのような話をしながら食事をしたのか等の情報を導入することは不可能である。それに加えて、生活効用を定義するのは、1 日、といったある限られた時間帯についてのみである。また、個人が主観的に形成する生活の質と、行動結果から効用理論に基づいて推測される効用との間には、何らかの心理的な機構により異なったものとなっているかも知れない。したがって、当然ながら、ここで述べた方法によって、個人の「生活の質」を完全に定量化することは不可能である。ここで述べた期待生活効用は、限られた情報に基づいたものであり、かつ、あくまでも個人の意思決定の結果から推測されるものである。

しかし、個人にとっての「真の生活の質」が実際に存在し、かつ、それが合理的な行動仮説から導き出すことが不可能であったとしても、その「真の生活の質」と以上に述べた期待生活効用とは、少なくとも正の相関をもっていることが予想される。なぜなら、よほどの例外を除いて、全く自由な活動のない移動ばかりしている様な生活パターンを営む個人が、自らの生活に対して高い主観的な評価を与えるとは考え難い、あるいは、自由な時間が長く多様な生活パターンから自由に選択できるような状況を好む傾向がある、といったことが予想されるからである。それに加えて、各個人についての個別情報を完全に導入することは不可能であっても、全ての個人について共通の条件となり得る交通基盤を含む社会基盤の整備状況や、その運用方法など、交通計画者、都市計画者が操作可能な環境的要因が及ぼすであろう影響を考慮した上で、生活効用関数を特定化することはできるものと考えられる。これらの点を考えると、式 (6-15) で定式化した期待生活効用を、個人の生活の質を完全に定量化した指標であると見なすことは不可能であっても、それに基づいて、従来では考慮することが困難であった個人の生活の質を視野に入れた上で種々の政策の効果を評価できるものと考えられる。

6.3 分析のためのデータの概要

生活効用関数内のパラメータを推定するためには，個人の生活行動についての意思決定の結果，選択肢集合，ならびに，生活効用関数内の変数を測定することが不可欠であるが，6.1.2 で述べたように，生活パターンの選択肢集合が極めて大きいこと，および，ダイアリー調査における被験者の回答における負担の大きさを考えると，ダイアリーデータ等の RP データに加えて，その時における選択肢集合を観測することは困難であるものと考えられる．そこで，本章では，実験計画法に基づいて仮想的な複数の生活パターンを設計し，それらについての順位付けを要請する SP 調査¹⁶⁾，ならびに個人属性，世帯属性，各活動に対する選好特性についての調査を行うことで，上述の意思決定の結果，選択肢集合，ならびに外生変数という 3 つの情報を入手し，それらの情報に基づいて生活効用関数を特定化することとした．ここに，各活動に対する選好特性についての調査としては，表 6-1 に示したそれぞれの活動に対する一般的な選好の特性を，嫌いだ，少し嫌いだ，どちらとも言えない，少し好きだ，好きだの 5 項目からの一つを選択を要請するという形で実施するものである．なお，こうして得られた選好について指標を，以下では，「選好水準指標」と呼ぶこととする．

表 6-1 選好水準指標をデータとして得た活動分類

睡眠	日常的な買い物
身じたく・入浴	娯楽としての買い物
子育て	スポーツ運動
食事	テレビ
家事	読書
仕事・アルバイト	休息
学校・勉強	受診・診療
趣味・娯楽	移動
交際・訪問	通勤通学

これらの SP 調査，個人属性，世帯属性の調査，選好水準指標についての調査は，第三章で述べた大阪湾岸パネルの Wave 2 の一部として実施されている．本章では，その中でも，SP 調査の設計について，述べることとする．

表 6-2 SP 調査で設定した 7 つの実験要因

活動時間 要因	仕事の実行時間(仕事時間) 自宅外自由活動の実行時間(宅外自由時間) 移動・交通の実行時間(移動時間) 睡眠時間を除く在宅時間(在宅時間)
活動時刻 要因	外出時刻 帰宅時刻
金銭要因	1か月の残業手当(残業手当)

6.3.1 SP 調査で考慮した要因

本研究では，式(6-1)に示したように，生活効用を時間資源を用いて自己生産される活動サービスの消費に伴う効用と，活動サービスの消費に伴わない効用との和という形で定式化して

いる．さらに，前者の効用は，式（6-2）から（6-7）で示した様に，個々の活動の実行時間の関数として定式化されている．この点を考慮して，SP 調査を計画するにあたっては，活動内容別の活動の実行時間を実験要因とすることとした．活動内容としては，「在宅」「宅外自由活動」「移動」「仕事」の 4 つを考慮することとした．ここに，「宅外自由活動」とは，自宅以外での自由活動を意味する．なお，この 4 つの活動を，さらに詳細に分類することも可能ではあるが，実験要因数の増大に伴う実験の複雑化を避けるため，SP 調査では上述の 4 活動を考慮することとした．

一方，生活効用活動サービスの消費を伴わない効用に影響を及ぼす要因としては，金銭要因，時刻要因を考慮することとした．ここに，金銭要因を導入したのは，労働によって得られる収入の差が，生活パターンの選択行動に影響を及ぼすものと考えたからである．ただし，前節で定式化した生活効用は，対象とする期間として，おおよそ 1 日程度を想定して定式化されているものであり，数ヶ月，数年といった対象期間として定式化されたものではない．この点を考えると，職業選択といった長期的な意思決定の所産である労働賃金率を金銭要因として導入し，生活効用関数を特定化することは困難であるものと考えられる．そこで，日々の生活の中で個人的に選択することが職業選択よりは容易であるものと考えられる，残業時間の長短による金銭収入の増減を，金銭要因として SP 調査で考慮することとした．

また，時刻要因としては，外出時刻と帰宅時刻を導入することとした．これは，例えば活動別の活動実行時間，金銭的收入が同一であっても，外出時刻，あるいは，帰宅時刻の早い/遅いによって，生活パターンの好ましさが異なるものと考えたためである．なお，時刻要因として，外出時刻，帰宅時刻以外にも，それぞれの活動の開始時刻，終了時刻が考えられるが，実験の複雑化を避けるために，考慮する時刻要因を外出時刻/帰宅時刻の 2 つに限定した．

以上，SP 調査では，7 つの要因を考慮することとした．なお，表 6-2 には，SP 調査で考慮する要因をまとめている．

6.3.2 SP 調査における実験計画

7 つの要因全ての水準に分散を与えて一つの実験を計画した場合には，その実験における代替案数（生活パターン選択肢数）が非常に大きなものとなる，という問題が生じる．一般に，このような場合，複数の実験を設定し，それぞれの実験にいくつかの要因を配置する，という方法が用いられる．こうすることで，個々の実験の代替案数の削減を目指すのである．ただし，個々の要因の効果を相対比較ができるように，各々の実験の中には，他の実験でも配置されている要因が少なくとも 1 つは配置されているように設計する¹⁶⁾．本章でも，この考え方を採用し，2 個から 4 個の要因を配置した実験を複数行うこととした．ただし，各々の実験の中には，他の実験でも配置される要因が少なくとも 1 つは配置されるように設計した．

個々の生活パターンの代替案の属性を設計する際には，対象とする時間帯を全ての代替案について共通に設定した．これは，対象とする時間帯が一定でない場合，時間帯の長さ自体が生活効用に影響を及ぼすためである．

さて、対象とする時間帯を共通とする、ということは、要因として設定した活動時間の総和が全ての代替案について等しくなることを意味する。したがって、通常の直交表、あるいはラテン方格法等を利用した要因水準の決定ができない。そこで、各々の実験について、活動時間に関して考えられうる全ての組み合わせを代替案として生成し、そのうえで明らかに優越する代替案を削除した。なお、活動時間は30分単位で設定した。また、類似した代替案が存在する場合、代替案の差異が明確になるように一方を削除した。そして、最終的に選好順位の回答が容易となるように、各々の実験における代替案数が最大で6となるように設定した¹⁶⁾。以上の前提に基づいて、表6-3に示す7つの実験を計画した。

表 6-3 SP 調査で設定した 7 つの実験における 7 要因の配置とその水準

代替案	仕事 時間 (時間)	宅外自 由時間 (時間)	移動 時間 (時間)	在宅 時間 (時間)	出勤 時刻 (時)	帰宅 時刻 (時)	残業 手当 (万円)
実験 1	A	-	4	2	1	-	22
	B	-	0	2	5	-	18
	C	-	3	3	1	-	22
	D	-	1.5	2.5	3	-	20
	E	-	1	2	4	-	19
	F	-	2	2	3	-	20
実験 2	A	10		2			
	B	12		0(数分)			
	C	8		4			
実験 3	A	10		2			4
	B	12		0(数分)			8
	C	8		4			0
実験 4	A	8			5	18	
	B	12			1	22	
	C	10			3	20	
実験 5	A	8			5	18	0
	B	12			1	22	8
	C	10			3	20	4
実験 6	A	8		*	6	16	
	B	10		*	6	18	
	C	8		*	8	18	
	D	10		*	8	20	
	E	8		*	10	20	
	F	10		*	10	22	
実験 7	A		4	2	9	15	
	B		6	4	5	19	
	C		4	4	7	17	
	D		8	6	1	23	
	E		0	0(数分)	15	-	
	F		6	6	3	21	

* 就寝時刻(自由回答による) - 帰宅時刻

以上の実験計画に基づいて、各生活パターンの代替案に好ましい順番に順位を付けることを要請する調査項目を、付録5に示した形式で作成した。そして、この設問を大阪湾岸パネルのWave 2での調査票に含めることで、選好順位データを収集した。

6.4 SP データに基づく生活効用関数の特定

6.4.1 生活効用関数についての基礎的検討

本章では、生活効用関数を式(6-9)の様な形で定式化しているが、この関数を特定化するためには、

- (1) 考慮する活動の種類
- (2) 式(6-3)で定義したある限界効用関数 $MU_{ik}(\bullet)$ (すなわち、式(6-4)で定義した活動 k について固有の関数 $f_k(\bullet)$ 、ならびに、ある個人 i 、ある活動 k について固有な係数 a_{ik})
- (3) 式(6-8)で定義した、活動サービスの消費に伴わない効用の説明変数 X_i の要素

を決定する必要がある。以下、本項では、上記(1)～(3)のそれぞれについて述べる。

(1) 考慮する活動の種類

SP 調査において要因として設定した在宅、宅外自由活動、移動、仕事の4活動を考慮することとした。なお、本章では、それぞれの活動の引数 k を以下のように定義した。

「在宅」の場合、 $k = 1$

「宅外自由活動」の場合、 $k = 2$

「移動」の場合、 $k = 3$

「仕事」の場合、 $k = 4$

(2) 限界効用関数 $MU_{ik}(\bullet)$

それぞれの活動についての限界効用関数を、それぞれ以下のように定式化した。

$$\text{在宅の場合；} \quad MU_{i1}(t) = a_{i1} f_1(t) = a_{i1} \frac{1}{t+1} \quad (6-16)$$

$$\text{宅外自由活動の場合；} \quad MU_{i2}(t) = a_{i2} f_2(t) = a_{i2} \frac{1}{t+1} \quad (6-17)$$

$$\text{仕事の場合；} \quad MU_{i3}(t) = a_{i3} f_3(t) = a_{i3} \quad (6-18)$$

$$\text{移動の場合；} \quad MU_{i4}(t) = a_{i4} f_4(t) = a_{i4} \alpha^t \quad (6-19)$$

在宅と宅外自由活動については、消費することで正の効用が生じる、すなわち、正の限界効用を持つ活動サービスであると考えた。ただし、消費時間に対して、限界効用は逓減していくものと考えた。この限界効用についての性質は、財やサービスの消費に伴う効用についての一

般的な性質として知られており，限界効用逓減の法則¹⁹⁾と呼ばれるものである．これらの考え方に基づいて，限界効用が消費時間に反比例するものと考え^{2), 9), 10)}，式(6-16)および式(6-17)の双方を定式化した．ここに，これらの式で，右辺の分母において t に 1 を加えているが，これは， $t = 0$ で限界効用が無限大に発散することを避けるためである．なお，一般には，消費量を 0 に収束させた場合に限界効用が無限大に発散する限界効用関数を持つ財・サービスは，生命を維持するために必要とされるもの，例えば水や食料であると考えられる．しかし，「宅外自由活動」や「在宅」は生命を維持するために必要なサービスとは考えがたく，この点から，無限大に発散させることを避けるために，右辺の分母を $t+1$ としたのである．

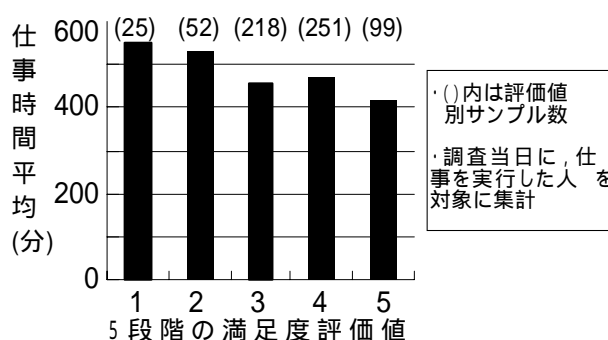


図 6-2 満足度評価値別の平均仕事時間

次に，式(6-18)に示した様に，仕事時間の限界効用は一定値をとるものと考えているが，この考え方は，ダイアリー調査で得られたデータを集計して得られた知見に基づいている．ダイアリー調査では，個々の活動，および，移動についての設問に加えて，調査当日の生活満足度についての主観的な評価値を「全く不満」から「非常に満足」の 5 段階で尋ねている．この，生活満足度評価値別に各活動実行時間平均を求めた結果，図 6-2 の様に，移動の実行時間と生活満足度との間に線形関係が存在したためである．なお，生活満足度の主観評価値と本章で提案している生活効用とは明らかに異なった概念であるが，いずれも生活パターンについての望ましさについての指標である点から，図 6-2 で得られた傾向から，式(6-18)を定式化することとした．ここで注意すべき点は，仕事時間の増加に伴って生活満足度が低下している，という点である．このことは，仕事活動は，在宅や宅外自由活動のように，活動時間の増加に伴って生活効用が増加するような活動サービスではなく，活動時間の増加に伴って生活効用が減少する負の財（サービス）^[3]である可能性が存在するものと考えられる．すなわち，式(6-18)の a_{i3} が負の値である可能性が存在するものと推測されるのである．ただし，仕事時間の増加による機会費用の発生（すなわち，他の正の限界効用を持つ活動サービスの活動時間が減少することによる生活効用の減少）のために図 6-2 のような傾向がみられた，という可能性も存在するため，この点についてはモデル分析を通じてパラメータ a_{i3} を推定する，といったデータを用いた検証が必要があるものと考えられる．

最後に，移動については，移動時間の増大に伴い限界効用の絶対値が増加するものと考え，

式(6-19)のように定式化した。なお、パラメータ α としては、1.443を用いた^[4]。また、移動時間についても、図6-2に示したような形で移動時間平均と満足度評価値との関係を調べたところ、明確な相関関係はみられなかったが、SPデータを用いて移動時間と選好順位の関係を集計分析した結果からは、移動時間の長い代替案は選好順位が低くなる傾向がみられた。しかし、仕事時間の際に述べたようにデータを用いたモデル分析を行うことで、これらの集計分析でみられた移動の活動サービスとしての性質を検証することが必要であるものと考えられる。

以上より、式(6-16)～(6-19)と式(6-5)、ならびに式(6-6)式(6-7)より、時間資源から生産した活動サービスを消費することで得る効用 UC_i は、以下のように定式化される。

$$UC_i = a_{i1} \ln(D_{i1} + 1) + a_{i2} \ln(D_{i2} + 1) + a_{i3} D_{i3} + a_{i4} \frac{1.443^{D_{i4}} - 1}{\ln(1.443)} \quad (6-20)$$

ここで、各活動の限界効用関数における係数 a_{ik} は、各活動サービスの性質、あるいは、各個人のその活動サービスについての態度を表す係数であるものと解釈できる。すなわち、 a_{ik} が正の場合には、個人 i 、活動 k の限界効用は正となり、したがって、個人 i は活動 k を好ましい活動である認識しているものと解釈できる。逆に、その値が負の場合には、個人 i は活動 k を好ましくないものと考えており、したがって、負の財と見なしているものと解釈できる。さらに、ある個人が別の個人よりも活動 k をより好ましい(好ましくない)活動と認識している場合には、前者の a_{ik} の絶対値は後者のそれよりも大きなものと考えられる。一方、先に定義したように、活動 k は宅外自由活動、在宅、仕事、移動のいずれかの活動内容を示す。しかし、活動分類としては、表6-3に示した様なより詳細な分類が可能である。そこで、 a_{ik} はより詳細に分類された活動に対する個人の好み(以下、選好水準)に影響を受けるものと考え、パラメータ a_{ik} を以下のように定式化した。

$$a_{ik} = \mathbf{A}_k \mathbf{W}_i + a_k \quad (6-21)$$

$$\mathbf{W}_i' = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im}, \dots, w_{iM}) \quad (6-22)$$

ここに、

ω_{im} : 個人 i の活動 m (表6-3に示した選好水準評価値を得た際の活動分類に従う)に対する選好水準

\mathbf{W}_i : ω_{im} を要素とする個人 i の選好水準ベクトル

\mathbf{A}_k : 活動内容 k に固有のパラメータベクトル

a_k : 活動内容 k に固有の定数項

また選好水準 ω_{im} は個人属性などの各個人に固有な変数の影響を受けており、かつ、各々の選

好水準間にも相関が存在すると仮定し、以下のように定式化した。

$$\mathbf{W}_i = \mathbf{G}\mathbf{W}_i + \mathbf{Z}_i + \varepsilon_i \quad (6-23)$$

ここに、

\mathbf{Z}_i : 個人 i の属性ベクトル

\mathbf{G}, Γ : パラメータ行列

\mathbf{E}_i : 多変量正規分布に従う誤差項ベクトル

(3) 説明変数 \mathbf{X}_i の要素

式(6-8)で定義した、活動サービスの消費に伴わない効用の説明変数 \mathbf{X}_i の要素としては、実験計画で要因として設定した時刻要因(外出時刻、帰宅時刻)、金銭要因(残業手当)を用いることとした。

出勤時刻、帰宅時刻に関しては、「早い出勤に対する抵抗感」「遅い帰宅に対する抵抗感」を各個人が持っているものと考え、ダミー変数で定式化することとした。一方、SPデータの定性分析からは、午前7時より早い出勤時刻の代替案、午後9時よりも遅い帰宅時刻の代替案が共に選好順位が低いという傾向がみられた。そこで、以下のように定義される変数を \mathbf{X}_i の要素とすることとした。

$$x_{i,out} = \begin{cases} 0 & \text{if } (T_{i,out} > 7) \\ 1 & \text{if } (T_{i,out} \leq 7) \end{cases} \quad (6-24)$$

ここに、

$x_{i,out}$: 出勤時刻に関する \mathbf{X}_i の要素

$T_{i,out}$: 出勤時刻(時)

$$x_{i,in} = \begin{cases} 0 & \text{if } (T_{i,in} < 21) \\ 1 & \text{if } (T_{i,in} \geq 21) \end{cases} \quad (6-25)$$

ここに、

$x_{i,in}$: 帰宅時刻に関する \mathbf{X}_i の要素

$T_{i,in}$: 帰宅時刻(時)

残業手当等所得を厳密に考慮した効用関数を定式化するためには、世帯における総所得

を制約条件とし、その世帯が購入する財・サービスを特定化し、かつ、購入したそれぞれの財・サービスを消費することによって得られる効用を定式化する必要がある¹⁷⁾、¹⁸⁾。しかし、上記の消費プロセスを定量的に把握するためのデータの入手は困難である。そこで、本章では、実験要因として設定した残業手当の消費プロセスを単純化し、残業手当てに基づいて、一定の価格の基で種々の財・サービスを一定比率で購入するものと考えた¹⁸⁾。そして、それらの財・サービスの消費に関して限界効用低減の法則を適用し、残業手当てに関する X_i の要素 $x_{i,money}$ を、以下のように特定化した。

$$x_{i,money} = \ln(RM_i + 1) \quad (6-26)$$

ここに、

RM_i : 残業手当て (万円)

なお、残業手当てで購入する財・サービスは生命を維持するために必要なものであるとは考えがたい。そこで、宅外自由活動、在宅活動と同様に、右辺の RM_i に 1 を加え、 $M_i = 0$ において限界効用が無限大に発散することを避けた。

以上、式 (6-20)、式 (6-21)、式 (6-23) より定式化される UC_i 、ならびに式 (6-24) ~ 式 (6-26) で定義した外生変数を用いると、式 (6-1) より、生活効用関数は、以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} U_i = & \left\{ \mathbf{A}_1 (-\mathbf{G})^{-1} (\mathbf{Z}_i + \mathbf{I}_i) + a_1 \right\} \ln(D_{i1} + 1) \\ & + \left\{ \mathbf{A}_2 (-\mathbf{G})^{-1} (\mathbf{Z}_i + \mathbf{I}_i) + a_2 \right\} \ln(D_{i2} + 1) \\ & + \left\{ \mathbf{A}_3 (-\mathbf{G})^{-1} (\mathbf{Z}_i + \mathbf{I}_i) + a_3 \right\} D_{i3} \\ & + \left\{ \mathbf{A}_4 (-\mathbf{G})^{-1} (\mathbf{Z}_i + \mathbf{I}_i) + a_4 \right\} \frac{1.443^{D_{i4}} - 1}{\ln(1.443)} \\ & + \mathbf{B}(x_{i,money}, x_{i,in}, x_{i,out}) + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (6-27)$$

6.4.2 推定計算

式 (6-27) のように定式化した生活効用関数に基づいて、6.2.4 で述べた方法で交通需要予測、あるいは、政策評価を行うためには、パラメータベクトル $\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \mathbf{A}_3, \mathbf{A}_4, \mathbf{B}, \mathbf{G}, \Gamma$ ならびにパラメータ a_1, a_2, a_3, a_4 が既知である必要がある。本節では、これらの未知パラメータの推定について述べる。

本章では、生活効用関数を推定するためのデータとしては、6.3 で述べた SP データを用いるが、この SP データは、実験計画法に基づいて設定した複数の仮想的な生活パターンに、選好順位を付けることを要請することで得られたデータである。こうして得られた SP データは、離散

選択モデルの枠組みで推定されるのが一般的である．しかし，式（6-27）で定式化した生活効用関数には，誤差項が ε_i の他にベクトル E_i が含まれるため，ある選択肢の選択確率を定式化した場合，多重積分が必要となり，推定計算が極めて複雑となる．一方，本研究では，選好水準指標が観測値として得られており，式（6-23）に定義した選好水準についてのパラメータ G, Γ を先に推定することが可能である．そこで，ここでは，instrumental variable²⁰⁾の考え方に基づいて，1)パラメータ G, Γ を選好水準指標（選好水準の5段階主観的評価値）に基づいて推定し，これに基づいて，選好水準ベクトルの推定値 \hat{W}_i を求める，2)選好水準ベクトルの推定値 \hat{W}_i とSP調査から得られる選好順位に基づいて $B, A_1, A_2, A_3, A_4, a_1, a_2, a_3, a_4$ を推定する，という段階的な推定方法を用いることとする．以下，それぞれ段階の推定計算について述べる．

（1） 選好水準 W_i についてのパラメータの推定計算

選好水準ベクトル W_i は各活動に対する選好水準指標によって観測されていると考えた．そして，式(6-23)を構造方程式，以下に示す式(6-28)を測定方程式とする構造方程式モデルを考えることで，重み付き最小二乗法を用いて，パラメータ G, Γ を推定した．

$$Y_{im} = \begin{cases} 1 & \text{if } (\omega_{im} \leq \tau_{m,1}) \\ 2 & \text{if } (\tau_{m,1} < \omega_{im} \leq \tau_{m,2}) \\ 3 & \text{if } (\tau_{m,2} < \omega_{im} \leq \tau_{m,3}) \\ 4 & \text{if } (\tau_{m,3} < \omega_{im} \leq \tau_{m,4}) \\ 5 & \text{if } (\tau_{m,4} < \omega_{im}) \end{cases} \quad (6-28)$$

ここに，

Y_{im} ：個人 i の活動 m に対する5段階の選好水準指標

$\tau_{m1}, \tau_{m2}, \tau_{m3}, \tau_{m4}, \tau_{m5}$ ：しきい値

推定計算で用いた変数を表6-4に示す．推定計算に用いたサンプルとしては，これらの変数を不備なく回答した630人を用いた．なお，推定にあたっては，サンプル数の制約から，全ての選好水準を同時に推定することができなかったため，主に自宅内で行う活動についてのモデルと，自宅の外で行う活動についてのモデルを個別に推定した．推定結果を表6-5，表6-6に示す．

表6-5より，自宅内活動については「睡眠」と「休息」の選好水準間に正の共分散が，「テレビ」と「読書」の選好水準間には負の共分散が存在する結果となった．テレビが好きな人は読書が嫌いであるとも考えられるが，回答者がテレビと読書が1つの対をなす活動とみなし，両者の好みについて対照的な回答を行った可能性も考えられる．また，「睡眠」，「身じたく・入浴」，「食事」，「家事」の選好水準は，相互に強い影響を及ぼしている．これらの活動に

については、生理的欲求、身のまわりに配慮する意識といった要因が各々の活動の選好水準に共通に作用すると考えられ、これが因果関係に反映されるものと考えられる。「テレビ」の選好水準は、「休息」の選好水準と強い相関があり、テレビ視聴が休息の要素をもつためと推察される。

表 6-5 で個々の選好水準に対する説明変数の影響をみると、「睡眠」については年齢、就業者ダミー、自動車通勤ダミーの t 値が高く、体力を消耗する人ほど睡眠を好むことを表してい

と考えられる。「テレビ」は年齢の低い人、および男性が好み、学歴の高い人は好まないという結果となり、「読書」は「テレビ」と逆の傾向が表れている。「読書」については、家にいる時間が短い人が好むという結果となったが、これは日常十分に時間を割けないために、欲求が強くなると解釈することもできる。

表 6-6 より、自宅外活動については、「日常的な買物」と「娯楽としての買物」に正の共分散があり、これらは目的が異なるものの、類似した活動とみなされている可能性がある。個々の活動の選好水準についてみると、「日常的な買物」と「娯楽としての買物」は女性の方が好むという傾向が表れている。また、残業手当の高い人ほど好むという結果となっており、金銭的余裕があるためではないかと推察される。「交際・訪問」は女性よりも男性が、また就業者、高学歴の人が好むという傾向が表れている。「移動」については、男性、就業者が嫌う傾向が見られ、日常生活での経験から忌避感をもっていると考えられる。また、「通勤・通学」の結果は、通勤手当が支給されていないと通勤に対して不満をもちやすいと解釈でき、興味深い結果と言える。

(2) SP 選好順位データに基づくパラメータの推定

さて、選好水準ベクトルは、構造方程式である式 (6-23) に基づくと²¹⁾,

$$\mathbf{W}_i = (-\mathbf{G})^{-1} (\mathbf{Z}_i + \boldsymbol{\varepsilon}_i) \quad (6-29)$$

この式に基づいて、選好水準ベクトルの推定値 $\hat{\mathbf{W}}_i$ を以下のように定式化した。

$$\hat{\mathbf{W}}_i = (-\mathbf{G})^{-1} \mathbf{Z}_i \quad (6-30)$$

ここに、右辺の未知パラメータ \mathbf{G} , $\boldsymbol{\Gamma}$ は前節での推定計算より推定されており、これらの推定値と、外生変数として得られているベクトル \mathbf{Z}_i から推定値 $\hat{\mathbf{W}}_i$ を算定した。

ここで、 $\hat{\mathbf{W}}_i$ が与件として与えられているものと考え、式 (6-27) に示した生活効用関数は、以下ようになる。

$$\begin{aligned} U_i = & \left(\mathbf{A}_1 \hat{\mathbf{W}}_i + a_1 \right) \ln(D_{i1} + 1) + \left(\mathbf{A}_2 \hat{\mathbf{W}}_i + a_2 \right) \ln(D_{i2} + 1) \\ & + \left(\mathbf{A}_3 \hat{\mathbf{W}}_i + a_3 \right) D_{i3} + \left(\mathbf{A}_4 \hat{\mathbf{W}}_i + a_4 \right) \frac{1.443^{D_{i4}} - 1}{\ln(1.443)} \\ & + \mathbf{B}(x_{i,money}, x_{i,in}, x_{i,out}) + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (6-31)$$

ここで、以下の超(横)ベクトル \mathbf{P} , \mathbf{Y}_i を、

$$P = (\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \mathbf{A}_3, \mathbf{A}_4, a_1, a_2, a_3, a_4, \mathbf{B}) \quad (6-32)$$

$$\mathbf{Y}_i' = \left(\ln(D_{i1} + 1) \hat{\mathbf{W}}_i', \ln(D_{i2} + 1) \hat{\mathbf{W}}_i', D_{i3} \hat{\mathbf{W}}_i', \frac{1.443^{D_{i4}} - 1}{\ln(1.443)} \hat{\mathbf{W}}_i', \ln(D_{i1} + 1), \ln(D_{i2} + 1), D_{i3}, \frac{1.443^{D_{i4}} - 1}{\ln(1.443)}, \mathbf{X}_i' \right) \quad (6-33)$$

とそれぞれ定義すると，式（6-31）の右辺の第一項，第二項は以下のような線形関数として表現できる²²⁾．

$$U_i = P\mathbf{Y}_i' + \varepsilon_i \quad (6-34)$$

ここに，ベクトル \mathbf{Y}_i は，式（6-33）に定義したように，実験要因として設定している各活動の実行時間 TD_{ik} ，同じく実験要因として設定している $T_{i,out}$ ， $T_{i,in}$ ， RM_i を式（6-24），式（6-25），式（6-26）代入すること算定されるベクトル \mathbf{X}_i ，そして，式（6-23）で定義した個人属性 \mathbf{Z}_i を式（6-30）に代入することで得られる選好水準ベクトルの推定値 $\hat{\mathbf{W}}_i$ から特定することができるものである．したがって，式（6-32）をパラメータベクトル \mathbf{P} についての線形関数と見なすことができる．

ここで，SP 調査で得られている選好順位データは，複数の生活パターンの選択肢を個人に提示し，それに対する順位付けを要請することで得られたデータである．そこで，式（6-34）に生活パターン選択肢を表す指数 l を以下のように導入する．

$$U_{il} = P\mathbf{Y}_{il}' + \varepsilon_{il} \quad (6-35)$$

ここに，

\mathbf{Y}_{il} : 個人 i の生活パターンの選択肢 l に関する外生変数ベクトル

ε_{il} : 誤差項

ここで，式（6-14）で仮定したように，誤差項 ε_{il} を互いに独立で同一のガンベル分布に従う確率変数であると考えると，ある選好順位が回答される確率は，ランクロジットモデル²³⁾の考え方より定式化できる．この考え方をを用いると，各被験者が順位付けを行なう際に，最大の効用を与える選択肢から順に 1 から順位を付けるものと仮定し，個人 i が特定の選好順位の組み合わせを回答する確率は，

$$P(R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{il}, \dots, R_{iL}) = \prod_{k=1}^{L-1} \frac{\exp(\mathbf{PY}_{i(T_k)})}{\sum_{n=k}^L \exp(\mathbf{PY}_{i(T_n)})} \quad (6-36)$$

ここに，

L : SP 実験における選択肢数

R_{il} : 個人 i が回答した選択肢 l の選好順位 (1 以上, L 以下の整数)

T_n : $R_{i1} \sim R_{iL}$ に規定される選好順位が n である選択肢番号 (すなわち, $R_{il} = n$ の場合, T_n を l と定義する)

$P(R_{i1}, R_{i1}, \dots, R_{il}, \dots, R_{iL})$: 個人 i の選択肢 1 の選好順位が R_{i1} , 選択肢 2 の選好順位が R_{i2} , ..., 選択肢 L の選好順位が R_{iL} である同時確率

そして以下のように尤度関数 LF を定式化し, これを最大化することでパラメータ P , すなわち a_k , A_k , B を推定する.

$$LF = \prod_i P(R_{i1}^*, R_{i2}^*, \dots, R_{il}^*, \dots, R_{iL}^*) \quad (6-37)$$

ここに，

R_{il}^* : 個人 $i(i=1, 2, \dots, I)$ が実際に回答した選択肢 l の選好順位

この尤度関数, ならびに, 先述の SP データを用いて最尤推定法でパラメータベクトル P 推定した結果を表 6-7 に示す. なお, 先の推定計算において多くの活動についての選好水準を内生変数として取り扱ったが, ランクロジットモデルを適用した推定計算を行う段階では, それらの中でもそれぞれの活動サービスの消費に伴う限界効用に影響を及ぼす選好水準として, 仕事, 交際・訪問, 娯楽としての買い物, テレビ, 読書のそれぞれの選好水準を考慮することとした.

まず, 表 6-7 より, 宅外自由活動時間, および, 在宅時間が正の係数を持ち, 一方で, 仕事時間, 移動時間が負の係数をもっていることがわかる. これは, 在宅自由活動, 在宅は正の限界効用を持つ活動であり, 逆に, 仕事および移動が負の限界効用を持つ活動であることを示している. すなわち, 仕事, 移動は, ある種の苦痛を伴う負の財サービスであると解釈できるものと考えられる.

表 6-7 ランクロジットモデルに基づくパラメータベクトル P の推定結果

変数	推定値	t値	備考
$\ln(TD_{i1} + 1)$	1.62	9.33	TD_{i1} : 在宅時間
$\omega_{TV} \times \ln(TD_{i1} + 1)$	-0.02	-0.45	ω_{TV} : テレビの選好水準
$\omega_{read} \times \ln(TD_{i1} + 1)$	0.11	1.99	ω_{read} : 読書の選好水準
$\ln(TD_{i2} + 1)$	0.67	6.85	TD_{i2} : 宅外自由時間
$\omega_{social} \times \ln(TD_{i2} + 1)$	0.08	1.36	$\omega_{social} \times \ln(TD_{i2} + 1)$
$\omega_{rshop} \times \ln(TD_{i2} + 1)$	0.14	2.47	$\omega_{rshop} \times \ln(TD_{i2} + 1)$
TD_{i3}	-0.28	-8.51	TD_{i3} : 仕事時間
$\omega_{work} \times TD_{i3}$	0.03	2.02	ω_{work} : 仕事についての選好水準
$\frac{1.443^{D4}}{\ln(1.443)}$	-0.13	-8.49	TD_{i4} : 移動時間
$x_{i,out}$	-1.46	-17.77	外出時刻について
$x_{i,in}$	-0.5	-5.57	帰宅時刻について
xi_{money}	1.11	21.88	残業手当について

$L(0) = -6982$, $L(b) = -5760$, $\chi^2 = 2443$ (df=12), $\rho^2 = 0.175$, sample size = 2068

この推定結果は、各個人は、活動サービスとして消費することのみを目的として移動と仕事を自己生産しているという訳ではないことを示している。なぜならば、人間が合理的な選択行動を行うものと仮定した場合、正の限界効用を持つ財やサービスが消費可能であるという条件の下では、負の限界効用を持つ財やサービスを消費することはあり得ないからである。当然ながら、ドライブやサイクリング、あるいは、電車に乗りながら読書をする、という場合が存在することを考えると、移動にも正の限界効用を生む活動サービスとしての側面もあるものと考えられる。同様に、楽しい仕事、やりがいのある仕事を行っている場合には、仕事は正の限界効用を生むであろう。しかし、上述の推定結果は、仕事や移動は少なくとも平均的には負の限界効用を持つものであるということを示している。これらのことを考えあわせると、仕事や移動が苦痛を伴う負のサービスであるにも関わらず実際の生活において行われているのは、いずれも活動サービスとしての側面以外に何らかの実行するに足るだけの意義をもっているからであると考えられる。

ここで、移動や仕事の活動サービスとしての側面以外に考えられるものとして挙げられるのが、生産要素としての側面である。すなわち、移動は他の正の限界効用を持つ活動サービスを生産するために必要な時間資源を投入して得られる生産要素であるとの側面を持ち、そして、仕事は他の財やサービスを購入し消費するために必要な収入を得るために時間資源を投入して得られる生産要素であるとの側面を持つものと考えられるのである^[3]。なお、移動や仕事の活動サービス以外の側面について詳細な検討を加えるためには、賃金率や所得、その所得に基づいた消費、あるいは、職業や居住地の選択といった一日の生活パターン選択以外の種々の行動を視野に入れることが不可欠であるものと考えられる。

選好水準が含まれる項をみると、 $\omega_{work} \times TD_{i3}$ のパラメータは正の値となっている。これは、

仕事は負の限界効用を持つものの、その効果には個人間で差があり、仕事を好む人ほど負の効果は小さいものとなっている、と解釈できる。同様に、宅外自由時間についても ω_{rshop} 、 ω_{social} が含まれる項のパラメータが正となっており、同様に妥当な結果が得られているものと考えられる。在宅時間については、 ω_{read} の符号は正となったが、 ω_{TV} については t 値は低い負の値となった。これより、テレビ視聴に対する好みという個人の固有性は在宅時間による生活効用への効果に変化を及ぼさないものと解釈できる。

その他、早い出勤、遅い帰宅はあまり好まれない傾向にあること、そして、やはり金銭収入が多いことは好まれる傾向にあることがわかった。

6.5 生活効用関数に基づく仮想状況下での需要解析および政策評価についての数値計算例

ここでは、前節に示したモデルシステムの適用方法の単純な適用例を示す。

仕事開始時刻が午前 9 時、仕事終了時刻が午後 6 時、起床時刻、就寝時刻がそれぞれ午前 7 時、午後 12 時の通勤者を想定する。また、この通勤者の選択可能な生活パターンは仕事終了後にある商業施設に寄り道する（以下、寄り道）、寄り道せずにすぐに自宅に帰る（以下、直帰）の 2 つのみであると仮定する。そして、自宅、職場、およびその商業施設は図 6-3 の様なネットワークで結ばれているものと仮定する。ここで、以下の 2 つの交通政策が検討されている場合を想定する。

政策 1 職場 - 商業施設間の移動時間を 15 分短縮

政策 2 職場 - 自宅間の移動時間を 7.5 分短縮（すなわちこの通勤者は往復で 15 分の移動時間が短縮）

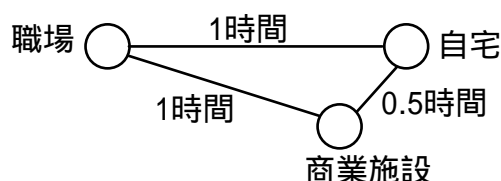


図 6-3 仮想就業者の通勤地域におけるネットワーク

表 6-7 交通政策の個人に対する仮想影響分析結果

	政策なし		政策1		政策2	
	直帰	寄り道	直帰	寄り道	直帰	寄り道
宅外自由時間 [*]	0	0.903	0	0.975	0	0.903
移動時間 [*]	2	2.5	2	2.25	1.75	2.375
在宅時間	6	4.597	6	4.775	6.25	4.722
帰宅時刻	19:00	20:24	19:00	20:14	18:53	20:24
選択確率	0.527	0.473	0.488	0.512	0.550	0.450
確定生活効用	0.444	0.335	0.444	0.493	0.558	0.357
生活効用期待値	1.084		1.162		1.155	

*:単位は時間

以上の前提に基づき、政策実行以前、政策1実行後、政策2実行後のそれぞれにおける直帰、寄り道双方の生活パターンを算定する。直帰の場合の帰宅後の在宅時間については、職場 - 自宅間の移動時間と仕事終了時刻から帰宅時刻を求め、それを就寝時刻から差し引くことで求める。寄り道の場合では、職場 - 商業施設、商業施設 - 自宅までのそれぞれの移動時間を加えた総移動時間を、仕事終了時刻から就寝時刻までの時間から差し引くことで、その通勤者が仕事終了以後に宅外自由と在宅に費やすことの可能な時間を求める。こうして求めた時間を、式(6-12)と式(6-11)の双方を用いて在宅と宅外自由に配分し、それぞれの仕事終了以後の実行時間を算定する。なお、在宅時間に関しては出勤前の在宅時間を以上の方法で求めた帰宅後の在宅時間に加えることで求める。そして、確定生活効用を式(6-31)から、各生活パターンの実行確率を式(6-14)から、期待生活効用を式(6-15)からそれぞれ求める。以上の計算結果を表6-7に示す。

表6-7より、政策1を実行することで、寄り道した場合に、15分間の移動時間が短縮され、そのうち、約70%の10.68分(=60×(4.775-4.597))が在宅時間に、残りの4.32分(=60×(0.975-0.903))が宅外自由時間に配分される。結果として寄り道の確率が増加することが分かる。一方、政策2を実行することで、直帰する場合には、出勤、帰宅の双方において短縮された合計15分が全て在宅時間に配分され、直帰する確率が増加することが分かる。また、ここで想定した合計6つの生活パターン(政策なし、政策1、政策2の3つの状況下において、生活パターンとして直帰・寄り道の2つづつをそれぞれ想定)の確定効用に着目すると、政策2の実行時に直帰する場合に、確定効用が最も高くなる。しかし、生活効用の期待値に着目すると、政策1,2を実行することで共に増加するものの、政策1を実行した場合の生活効用期待値の増加率の方が大きい。したがって、この通勤者にとってより望ましいのは、施策1であるという判断を下すことができる。

6.6 結語

本章では、的確な需要予測、および、生活の質を視野に入れた政策評価を行うためには効用理論に基づいた生活行動モデルが有効であるとの認識に基づいて、効用理論に基づいて活動時間、場所、内容、交通機関といった種々の意思決定を統一的に、かつ、直接的にモデル化することを最終的な目的としたいくつかの基礎的な検討を行った。その中で、本章では、生活効用に基づいた生活行動モデル、すなわち、生活効用モデルを構築するためには、いくつかの課題点が存在することを指摘した。その課題点とは、活動場所、内容といった離散的な決定変数と、活動場所といった連続的な決定変数をどのような枠組みで同時に内生化するのか、という点と、選択肢集合が極めて大きなものとなる、という点である。本章では、前者については、活動連鎖パターンを複数想定し、想定したそれぞれの活動連鎖パターンの各活動に最適に活動時間を配分し、最大の効用を与える活動連鎖パターンを選択する、という段階的な意思決定過程を仮定した離散-連続モデルの枠組みを適用することとした。後者については、実験計画法に基づいて設定した仮想的な複数の生活パターンを被験者に提示し、そこで得られた SP データを用いることで膨大な生活パターン選択肢集合を扱わずに生活効用関数についての推定計算を行う、という方法を用いた。

推定計算の結果、在宅、宅外自由は正の限界効用を持つ活動である一方で、仕事、および、移動は、負の限界効用を持つ負の財（サービス）であることが示された。ただし、それぞれの活動の限界効用には、個人間の異質性があること、および、その異質性は各個人の各活動に対する選好の傾向、すなわち、選好水準によって影響を受けていることが分かった。

また、仮想的な個人、仮想的なネットワークを仮定した簡単な数値計算の結果、少なくとも、予測時に個人についての選択肢集合を外生的に与えることができるならば、生活効用関数を用いて生活行動軌跡を再現した上で交通発生メカニズムを十分に考慮した交通需要予測ができること、ならびに、生活パターンの変化と、それに伴う生活効用の変化を考慮した期待生活効用に基づく生活の質を視野に入れた交通政策の評価が可能であることが示された。

このように、本章における SP データに基づいた生活効用関数についての基礎的な検討から、活動サービスの限界効用についての性質等についていくつかの知見が得られた。しかし、それと同時に、生活効用モデルを実際の交通需要予測、あるいは、政策評価に適用するためには、個人についての選択肢集合を特定化することが不可欠であることも明らかとなった。それに加えて、SP 実験で設定できる要因数には限りがあるため、地域属性や移動機関を要因として導入したり、多くの活動を含む選択肢を設定したりすることは困難であるものと考えられる。したがって、多くの活動を考慮した上で、機関属性や目的地地域属性を活動時間や個人属性と共に生活効用に要因として導入するためには、RP データの形で観測された個々の生活パターンの複数の代替生活パターンを生成して推定計算のための選択肢集合を設定し、その上で、推定計算を行うことが必要であるものと考えられる。

注

[1] 例えば、制約条件を考慮せずに、全活動連鎖パターン選択肢集合について時間配分を行い、その後に制約条件を考慮して選択肢集合を特定化し、そして、最大の生活効用を与える生活パターンを検出する、という「段階 2) 段階 1) 段階 3)」という意思決定過程も考えられ無くはない。あるいは、個人は 5 分以下、あるいは 1 分以下の活動時間の識別は行っていないものと考えて、時間を離散化し、活動時間の決定も含めて全て離散選択モデルの枠組みで効用最大化を達成する、という「段階 1) 段階 3)」という 2 段階の意思決定過程も考えられる。しかし、本文に示した「段階 1) 段階 2) 段階 3)」という 3 段階の意思決定過程は、段階 2) 段階 1) 段階 3) の 3 段階の意思決定過程や段階 1) 段階 3) という 2 段階の意思決定過程と同じ生活パターンを検出することになる(当然ながら、段階 1) 段階 3) の 2 段階の意思決定過程は、時間を離散的に取り扱っているために、若干の相違は生じる)。

[2] 総自由時間は、時間資源の中から、固定的な活動に費やす時間と、移動に費やす時間を差し引いたものである。すなわち、総自由時間 FTD_{il} は、以下の式により算定することができる。

$$FTD_{il} = (te_i - ts_i) - KTD_{il} - TTD_{il}$$

ここに、 te_i , ts_i はそれぞれ生活効用を規定する時間帯の終了時刻、開始時刻であり、 KTD_{il} は対象時間帯内における固定的な活動(勤務など)の総時間、 TTD_{il} は対象時間帯内における総移動時間である。ここで、当然ながら、 te_i , ts_i 分析者が規定するものである。また、この段階で議論の対象となっている活動連鎖パターンは、意思決定における段階 1) を経たものである。したがって、時間的な制約を満たす活動連鎖パターンとなっており、活動連鎖パターンには、 KTD_{il} の情報が含まれる。さらに、総移動時間 TTD_{il} についても、以下の 2 つの理由により、活動連鎖パターンごとに規定されるものとなる：1) 活動連鎖パターンには、活動場所の組み合わせ、および、個々の移動の交通機関を含む、活動時間以外の全ての生活パターンの規定要素についての情報が含まれている。2) 活動場所の組み合わせ、および、個々の移動の交通機関が与えられれば総移動時間は決定する。以上より、総自由時間 FTD_{il} は、個人 i の活動連鎖パターン l の形態によって一義的に定義されるものとなっている。

[3] 代表的な負の財(サービス)として挙げられるのが「ゴミ」である²⁴⁾。ゴミは、種々の消費活動に伴って生じる廃棄物であり、それを処理するためには時間とともに収入を消費することが必要とされる。したがって、ゴミを排出した消費者が得ることのできる効用は、(その他の消費活動が全く同一の場合には)ゴミの増加に伴って減少していくこととなる

（すなわち，ゴミの消費量で総効用を偏微分した場合，その値は負となる）．この意味において，ゴミは負の限界効用を持つ負の財なのである．一般に，消費者が負の限界効用を持つ様な財やサービスについて，その消費についての条件が全く存在しない場合に消費することはあり得ない．負の財を消費するのは，ある種の正の限界効用を持つ財・サービスを消費するためには必然的に生じてしまう，という条件が存在する場合においてのみである．換言すれば，ゴミの発生を必然的に伴うような財・サービスの限界効用を，その財・サービスを消費することで得られる効用と，ゴミを処理するために必要な負の効用との和という形で定式化した場合，その限界効用が正である，という条件を満たす場合において，消費者によってゴミは生産され，そして，消費されるのである．以上，ゴミを例として，負の財・サービスが負の効用を持つにも関わらず消費される根拠を述べたが，同様の議論が，仕事活動や移動についてもできる．すなわち，仕事は何らかの財・サービスを購入し消費するために必要な収入を得るためには不可欠な活動であり，また，移動は活動を実行するためには不可欠な行動である，というゴミと同様の条件，すなわち，ある種の正の限界効用を持つ財・サービスを消費するためには必然的に実行（消費）することが不可欠なものなのである．当然ながら，収入に基づいて購入される財・サービスの限界効用を，それらを消費することで得られる正の限界効用と仕事を実行することで生じる負の効用の和で定式化した場合，ならびに，移動の実行によって実現化可能となった活動の限界効用をその活動の実行に伴う限界効用と移動を実行することで生じる負の効用の和で定式化した場合，それぞれのものは正の値をとることになる．ただし，それらを分離し，移動の限界効用，仕事の限界効用を定義した場合には，負の値となるのである．本章で示している効用関数は，仕事や移動の実行に伴って生じる効用を，その他の財やサービスの消費活動とは独立に捉えるという形で定式化したものである．この様に分離することが可能であったのは，移動が実行される条件，ならびに，労働が実行される条件を無視して複数の仮想的な生活パターンを被験者に提示したためである．

- [4] 実験 1 から得られた SP データを用い，オーダードロジットモデル²⁵⁾に基づいてパラメータ α を推定することとした．なお，実験 1 の SP データを用い，他の実験の SP データを α の推定に用いなかったのは，移動時間の水準に分散が存在し，かつ，他の要因を平均 0 の誤差項で表現可能なものは実験 1 のみであったからである．その結果，パラメータ α の推定値として 1.443 が得られた．

第六章 参考文献

- 1) 藤井 聡・北村隆一・瀬戸公平：生活行動に伴う個人の効用を考慮した生活行動 交通行動モデルシステムの開発，土木学会論文集，No. 562/IV-35, pp. 83-96, 1997.
- 2) Supernak, J.: Temporal Utility Property of Activities and Travel, Uncertainty and Decision Making, *Transportation Research*, **26B**, pp. 61-76, 1992.
- 3) Kraan, M.: Modelling Activity Patterns with Respect to Limited Time and Money Budgets, In D. Hensher, J. King and T. Oum (eds.), *World Transport Research, Proceedings of the 7th World Conference on Transportation Research, Vol. 1, Travel Behavior*, Elsevier Science, Oxford, pp. 151-164, 1996.
- 4) Ben-Akiva, M. and J. Bowman: An Activity Based Disaggregate Travel Demand Model System with Daily Activity Schedules, *Transportation Research*.(forthcoming)
- 5) Recker, W.W., M.G. McNally and G.S. Root: A Model of Complex Travel Behavior. Part 1: Theoretical Development, *Transportation Research*, **20A**, pp. 307-318, 1986.
- 6) Recker, W.W., M.G. McNally and G.S. Root: A Model of Complex Travel Behavior. Part 2: An Operational Model, *Transportation Research*, **20A**, pp. 319-330, 1986.
- 7) 河上省吾，磯部友彦，仙石忠広：時間制約を考慮した1日の交通・活動スケジュール決定プロセスのモデル化，土木計画学研究・論文集，No. 4，pp. 189-196, 1986.
- 8) Hamed, M.M and F.L. Mannering: Modeling Travelers' Postwork Activity Involvement: Toward A New Methodology, *Transportation Science*, Vol. 27. No. 4, pp. 381-394, 1993.
- 9) Kitamura, R.: A Model of Daily Time Allocation to Discretionary Out-of-home Activities and Trips, *Transportation Research*, **18B**, pp. 255-266, 1984.
- 10) Kitamura, R., T. Yamamoto, S. Fujii and S. Sampath, A discrete-continuous analysis of time allocation to two types of discretionary activities which accounts for unobserved heterogeneity, In J.B. Lesort (ed.) *Transportation and Traffic Theory*, Elsevier Science, Oxford, pp. 431-453, 1996.
- 11) 池田泰敏，藤井 聡，北村隆一，山本俊行：費用制約を考慮した効用理論に基づく女性の旅行行動についての離散連続選択モデルの構築，土木計画学研究・講演集，No. 20(2)，pp. 641-644, 1997.
- 12) 熊田善亮，藤井 聡，北村隆一：個人の費用と時間の消費行動を考慮した生活圏の離散・連続モデル分析，土木学会第52年回次学術講演会講演概要集第4部，pp. 142-143, 1997.
- 13) 室町泰徳：離散連続モデルを利用した買い物トリップ発生に関する基礎的分析，土木計画学研究・論文集，No. 10, pp. 47-54, 1992.
- 14) 室町泰徳，原田 昇，太田勝敏：誘発交通量の算定に関する基礎的研究，土木計画学研究・論文集，No. 14, pp. 519-526, 1996.
- 15) 森杉壽芳，上田孝行，小池淳司，小森俊文：古典的消費者行動に基づく交通行動モデルの地域間旅客需要予測への適用，土木計画学研究・講演集，No. 19(1)，pp. 451-454, 1996.
- 16) Pearmain D., Swanson, J., Kores, E. and Bradley, M.: Stated Preference Techniques - A Guide

to Practice, Streer Davies Glave and Hauge Consulting Groupe, 1991.

- 17) Jusster, F. T.: Rethinking utility theory, *The Journal of Behavioral Economics*, **19**, pp. 155-179, 1990.
- 18) Henderson, J.M., Quandt, R.E. 著, 小宮隆太郎訳: 現代経済学 - 価格分析の理論 -, 創文社, pp. 32-35, 1961.
- 19) Samuelson, P. A., 都留重人: サムエルソン経済学 (下), 岩波書店, pp.587-588, 1967.
- 20) Ben-Akiva, M. and S.R. Lerman; *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, pp. 56-57, 1985.
- 21) 森川高行, 佐々木邦明: 主観的要因を考慮した非集計離散型選択モデル, 土木学会論文集, No. 470/IV-20, pp. 115-124, 1993.
- 22) 山本俊行, 藤井聡, 北村隆一: 個人の選好特性を考慮した交通機関選択分析, 土木学会第 49 回年次学術講演会講演概要集第 4 部, pp. 890-891, 1994.
- 23) 交通工学研究会: やさしい非集計分析, pp.115-116, 1993.
- 24) Hirshleifer, J. 著, 志田明訳: 価格理論とその応用(上), マグロウヒル好学社, pp. 72-76, 1977.
- 25) SAS Institute Inc.: SAS Technical Report -SAS/STAT Software, CALIS and LOGISTIC Procedures- Release 6.04, pp. 175-202, 1990.589-596, 1991.

第七章 効用理論に基づいた生活行動シミュレーションモデル^{1), 2), 3)}

7.1 序言

本研究では、第四章で構造方程式モデルの枠組みを適用して就業者の生活行動パターンを再現するモデルシステムを構築した。このモデルは、簡便に政策評価を行う際に有効なツールであるものと考えられるが、対象個人が限定され、かつ、離散的な選択問題を内生化することが困難であるという限界を持つものであった。一方、第五章では、様々な条件下の個人の生活行動パターンを、活動時間、内容、場所、交通機関といった種々の意思決定を再現しつつ生成するシミュレーションモデルシステム PCATS を構築した。PCATS では、簡便に生活行動を再現することを目的として、段階的、逐次的な意思決定過程を仮定した上で複数のサブモデルを構築しそれらを統合するというアプローチを用いている。さらに、第六章では、より適切に意思決定過程を再現するためには効用理論の枠組みが適切であろう、との認識から、効用理論に基づいて生活行動についての行動モデルを定式化し、その上で SP データを用いて効用関数のパラメータを推定することで生活効用モデルについての基礎的な検討を行った。その中で、限界効用についてのいくつかの知見が得られたとともに、生活効用モデルに基づいて需要予測を行うためには選択肢集合を設定する方法論が不可欠であり、この点が生活効用モデルを実用化するにあたっての極めて重大な課題点であることを指摘した。

このように、第四章、第五章で述べた生活行動モデルには、それぞれ課題点が残されているが、これらの課題点に対処した生活行動モデルの構築を目指した場合、第五章で述べた様々な個人の種々の条件下での生活行動軌跡を再現することが可能なシミュレーションモデルを、第六章で基礎的な検討を加えた生活効用モデルの枠組みで構築することが望ましいものと考えられる。

従来の研究においても、第六章で述べた SP データを用いて構築した生活効用モデル以外にも、第二章で概観したように、Kitamura⁴⁾、Supernak⁵⁾、Kraan⁶⁾、Kitamura et al.⁷⁾、Jara-Diaz⁸⁾、Adler and Ben-Akiva⁹⁾、河上ら¹⁰⁾、Ben-Akiva and Bowman¹¹⁾等によって効用理論に基づいた生活行動モデルが提案されている。その一方で、第五章で述べた生活行動シミュレータ PCATS 以外にも、構築された目的がそれぞれ異なるものの AMOS、STARCHILD、SMASH 等の生活行動シミュレータも提案されている。しかし、前者の効用理論に基づいた行動モデルとして挙げたものは、いずれも、活動内容、場所、時間、交通機関といった離散変数と連続変数の双方を考慮し、かつ、膨大な選択肢集合を取り扱う方法論を提示したものではない。一方、後者の生活行動シミュレータは、前者の Kitamura⁴⁾、Supernak⁵⁾あるいは、Adler and Ben-Akiva⁹⁾らが示しているような効用最大化の枠組みを部分的には導入しているものの、それらのシミュレータが生成する生活パターンがその個人が実行可能な生活パターンの中で最大の効用を与える生活パターンとなっている保証はない。

当然ながら、個人の意思決定理論として、効用理論が最適な理論であると必ずしも言えないのは事実である。したがって、効用理論が、PCATS を含めた従来において構築されている生活行動シミュレータが採用している意思決定ルールが勝るものであるとは当然ながら言えない。しかし、少なくとも、6.1.1 で述べたように、効用理論が主張する極めて単純な効用最大化原理、すなわち最大の効用を与える生活パターンを選択するという原理、を仮定することで、活動場所や内容、交通機関、時間といった複数の決定要素間の相互作用やトレードオフを考慮した上で生活行動の再現ができるのである。この点を考えた場合、やはり、先述のように、様々な個人の種々の条件下での生活行動軌跡を再現することが可能なシミュレーションモデルを、生活効用モデルの枠組みで構築することが望ましいものと考えられる。

本章では、これらの認識に基づいて、効用理論に基づいて個人の生活行動軌跡を生成する生活行動シミュレーションモデルの構築を図る。ただし、そのためには、第六章で指摘したように、1) どのようにして、実際に観測された行動パターンの代替生活パターンを生成し、推定計算のための選択肢集合を形成するのか、2) 膨大な数の代替生活パターンの中から、最大の効用を与える生活パターンをどのように効率的に検出するか、という 2 つの課題点に対処することが不可欠である。本章では、生活効用関数の推定のために、ダイアリーデータで観測された生活パターンの代替生活パターンを第五章で述べた PCATS を用いて生成することとした。また、プリズム制約等の制約条件で特定化される極めて大きな生活パターン選択肢集合から、最大の効用を与える生活パターンを効率的に検出する方法として、動的計画法¹²⁾を用いることとした。これらの方法論を用いることで、本章では、効用理論に基づいた実用可能な生活行動シミュレータの構築を目指す。なお、本研究では、本章で構築する生活行動シミュレータを、PCATS-RUM (Prism Constrained Activity-Travel Simulator-Random Utility Maximization)と呼ぶこととする。

7.2 生活行動シミュレータ PCATS-RUM の概要

本シミュレーションでは、個人の 1 日の時間を第五章で述べた PCATS と同様に、自由時間帯と固定時間帯とに分類した。固定時間帯では、活動内容、場所、時間等の活動の要素は予め決められており、個人の自由意思ではそれらの要素を変更することは不可能であるものと仮定する。一方、自由時間帯では、個人の自由意思で活動および移動の各要素を決定することが可能であると考ええる。

また、個々の活動、および移動を、以下の要素で表現することとした。

活動：開始時刻、終了時刻、活動内容、活動場所

移動：出発地、目的地、交通機関、出発時刻、到着時刻

活動場所、および、移動の出発地、目的地については、対象地域を複数の地域（以下、ゾー

ンと呼ぶ)に分割することで表現することとした。なお、後に示す数値計算では、京阪神地域の174市区町村をゾーンとした。また、交通機関については、

自動車，
公共交通機関，
自転車，
徒歩

の4つを考慮することとした。さらに、移動における所要時間、費用、乗り換え回数等は、移動の出発地、目的地、ならびに交通機関の3要素によって一義的に規定されるものとした。

なお、以上に示した活動場所、交通機関、および移動における所要時間、費用等についての仮定は、第五章に述べたPCATSと同様のものである。ただし、活動内容については、以下ように分類した。

在宅
宅外自由活動

PCATSでは、宅外の自由活動を外食や、趣味娯楽、日常的な買い物等の6つのカテゴリーに分類しているが、PCATS-RUMでは選択肢集合の大きさをできるだけ押さえることを目的として、これらを一括して宅外自由活動として取り扱うこととしている。

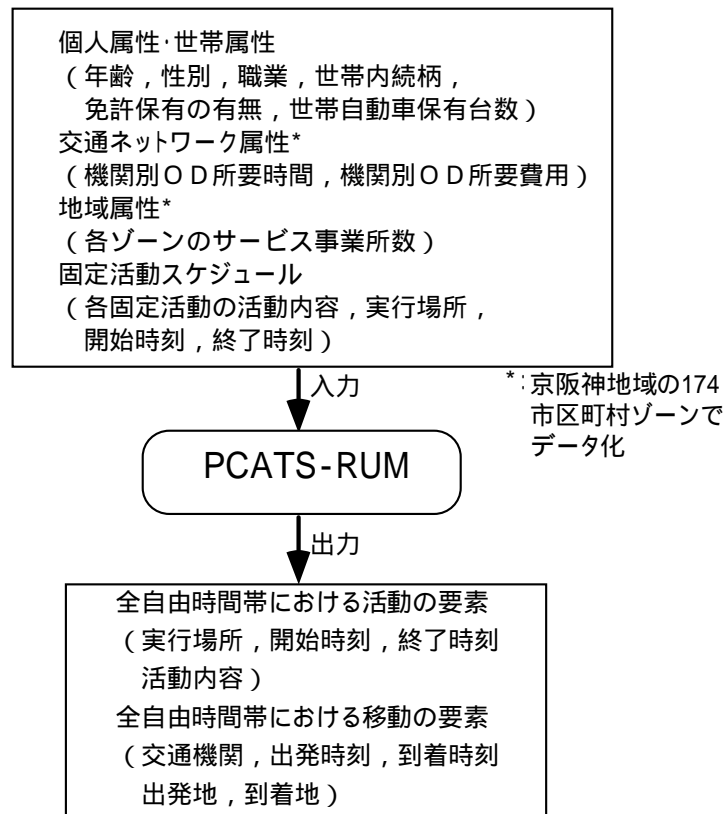


図 7-1 PCATS-RUM の入出力

ここで、PCATS-RUM の入力、出力を図 7-1 に示す。図 7-1 に示したように、PCATS-RUM は、個人・世帯属性、交通ネットワーク属性、地域属性、および、固定時間帯のスケジュールを入力することで、自由時間帯における各活動の要素（個々の活動の場所、開始時刻、終了時刻、内容）、および移動の要素（出発地、目的地、出発時刻、到着時刻、交通機関）を生成する。なお、上述のように、PCATS-RUM では、移動の出発地、目的地、および、活動の場所はゾーンで表現することから、入力データである地域属性、交通ネットワーク条件についても、ゾーン単位で入力することとした。

図 7-2 に、PCATS-RUM における、対象個人の生活パターンの生成手順を示す。まず、本シミュレータは、入力データとして与えられている固定活動スケジュールデータを読み込み、読み込まれたデータに基づいて対象個人の行動軌跡を再現する。すなわち、固定活動スケジュールデータに基づいて、対象個人の存在場所、および、シミュレータ内の仮想的な時刻（以下、シミュレーション時刻）を更新する。そして、固定時間帯が終了した時点で、その固定時間帯に続く自由時間帯における生活パターンを、効用理論の枠組みで構築される生活効用モデルに基づいて生成する。そして、生活効用モデルで生成された生活パターンに基づいて対象個人の行動軌跡を再現する。なお、移動の際に自動車、あるいは、自転車を利用している場合には、その個人が利用した自動車、および、自転車の現在位置も、シミュレーション時刻にあわせて更新する。

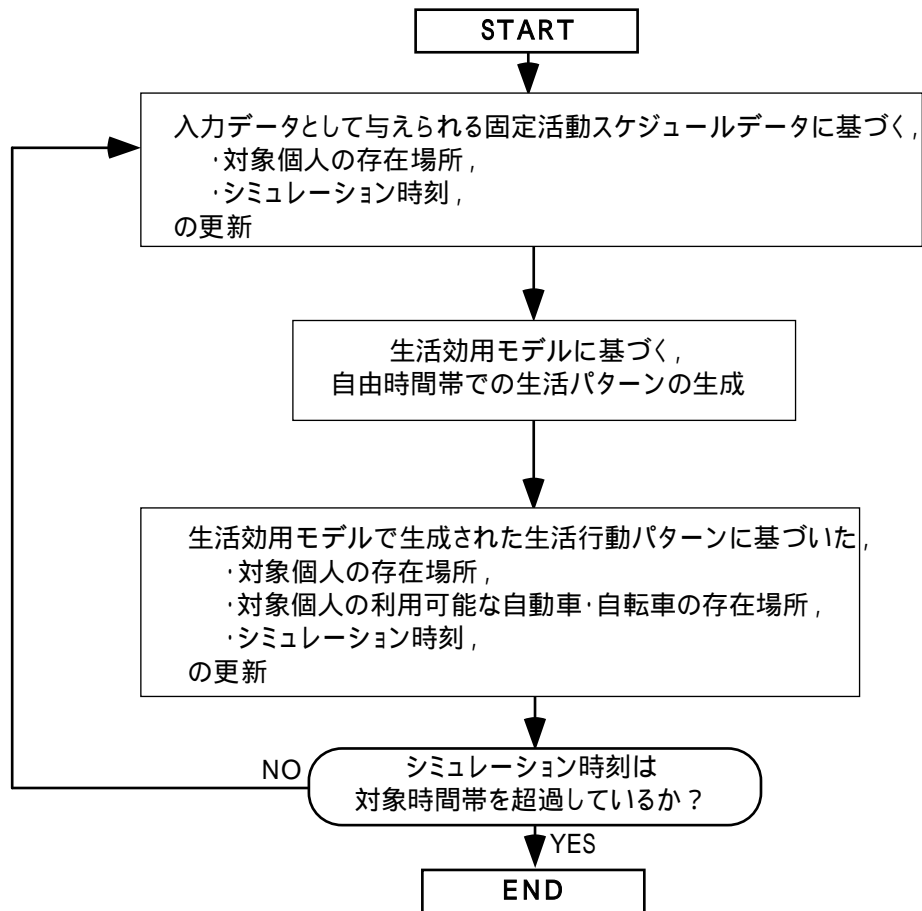


図 7-2 PCATS-RUM における対象個人の生活パターンの生成手順

その後、自由時間帯に引き続く固定時間帯における個人の行動軌跡を固定活動スケジュールデータで再現し、さらに、それに引き続く自由時間帯での生活パターンの意思決定を生活効用モデルで再現し、それに基づいて時空間内の行動軌跡を再現する。以上の手順を、シミュレータが対象とする時間帯を超過するまで繰り返す。

なお、以上に述べた計算手順は、ほぼ PCATS と同様のものであるが、自由時間帯の生活パターン生成する方法論として全く異なったものを採用している。PCATS では逐次的、段階的な意思決定過程を先験的に仮定し、その仮定に基づいて複数のサブモデルを組み合わせるという方法で自由時間帯の生活パターンを生成していたが、PCATS-RUM では、効用理論に基づいて構築される生活効用モデルで、自由時間帯の生活パターンを生成する。次節ではこの生活効用モデルについて詳細に述べる。

7.3 生活効用モデル

本章では、PCATS-RUM のサブモデルである生活効用モデルを前章、第六章で示した生活効用関数の定式化の考え方、ならびに、SP データを用いて行った推定計算から得られた知見に基づいて構築する。その際、前章の SP データに基づいたモデルをさらに拡張して、前章に示した推定計算では考慮しなかった交通機関と目的地、ならびに、活動の順番についての選択問題も同時に考慮することとした。また、パラメータの推定にあたっては、実際のダイアリーデータから得られた RP データを用いることとした。そして、最大の生活効用を与える生活パターン（以下、これを最適生活パターンと呼ぶこととする）を効率的に検出する方法論として、動的計画法を用いることとした。以下、本節では、7.3.1 で生活効用モデルにおける個人の生活行動についての基本的な仮定を、7.3.2 で生活効用関数内の未知パラメータの推定方法について、そして、7.3.3 では動的計画法に基づく最大の生活効用を与える生活パターンの効率的な検出方法について述べる。

7.3.1 個人の生活行動についての基本的仮定

個人は、実行可能な生活パターンの中から、最大の生活効用を与える生活パターンを選択するものとする。この考え方に基づいて、個人の生活行動についての意思決定を、以下のように定式化する。

$$\begin{array}{ll}
 \text{OBJ.} & U^n(\mathbf{S}) \quad \max \\
 \text{S.T.} & \begin{array}{l}
 1) \text{ プリズム制約} \\
 2) \text{ 交通機関制約} \\
 3) \text{ 目的地認知制約}
 \end{array}
 \end{array} \quad (7-1)$$

ここに、

\mathbf{S} : 生活パターンを表す行列

$U^n(\cdot)$: 個人 n の生活効用関数

ここで、この定式化に基づいて個人の生活パターンの生成を図る場合、決定変数である行列 \mathbf{S} 、生活効用関数 $U^n(\cdot)$ 、ならびに、1) ~ 3) までのそれぞれの制約条件を定義する必要がある。以下、これらについて順に述べる。

(1) 生活パターンを表す行列 \mathbf{S}

ある個人のある自由時間帯での生活パターンは、その自由時間帯に実行される複数の活動と移動の連鎖で表現されるものとする。そして、活動 l ($l=1, 2, \dots, L$) は、活動内容 d_l 、活動場

所 z_l , 開始時刻 t_l で特定化されるものとする。そして、以下の行列 S で生活パターンを定量的に表現する。

$$S = \begin{pmatrix} d_1 & d_2 & \cdots & d_L \\ z_1 & z_2 & \cdots & z_L \\ t_1 & t_2 & \cdots & t_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{d} \\ \mathbf{z} \\ \mathbf{t} \end{pmatrix} \quad (7-2)$$

ここに、

d_l : 活動 l の内容

z_l : 活動 l の場所

t_l : 活動 l の開始時刻

\mathbf{d} : 活動 1 から活動 L までの活動内容順列を表すベクトル

\mathbf{z} : 活動 1 から活動 L までの活動場所順列を表すベクトル

\mathbf{t} : 活動 1 から活動 L までの活動開始時刻順列を表すベクトル

ここに、活動内容 d_l のカテゴリーとしては、7.2 で活動内容として定義した在宅、宅外自由活動に加えて、移動を考慮する。活動場所 z_l のカテゴリーとしては、活動場所として定義したゾーンに加えて、移動時の交通機関を表す自動車、公共交通機関、自転車、徒歩を考慮する。また、活動開始時刻 t_l としては、活動の開始時刻と移動の出発時刻を考える。なお、当然ながら、活動 l の活動時間は t_{l+1} から t_l を差し引くことで求められるので、ベクトル \mathbf{t} には活動時刻についての情報だけでなく、活動時間についての情報も含まれる。

ここで、式 (7-1) に示した最適化問題における決定変数は、ここで定義した行列 S である。このことは、式 (7-1) に示した最適化問題を定式化することで、

個々の活動の内容選択
 個々の活動の場所選択
 個々の活動の活動開始時刻選択
 個々の活動の活動時間選択
 個々の移動の交通機関選択
 個々の移動の出発時刻選択
 活動数（移動数）選択
 活動順番選択

という、一般的な交通行動モデルでは複数の離散選択モデルや Duration Model でモデル化されていた選択問題を、全て同時に扱うことを意味する。この点が、生活効用モデルの大きな特徴の一つである。

(2) 効用最大化の際の制約条件

式(7.1)に示したように、本最適化問題では、プリズム制約、交通機関制約、目的地認知制約の3つの制約条件を考慮する。

プリズム制約¹³⁾とは、Hagerstrand が提案した、時空間内での個人の行動軌跡についての制約条件である。この制約条件は、自由時間帯内で実行する全ての移動と活動の時間総和は、自由時間帯の長さ等に等しく、かつ、それぞれの移動時間は、その移動の前後の活動場所の地理的な隔たりとその間の交通属性に依存する交通速度によって規定される、という制約条件である。この制約条件を導入することで、自由時間帯が短いほど、あるいは、交通速度が低いほど、活動数や到達可能な場所集合が小さくなり、そして、移動時間、活動時間が短くなる、といった傾向がモデル上で再現できる。

交通機関制約とは、交通機関の利用可能性についての制約であり、本モデルでは、第五章で構築した PCATS と同様に以下の3つを考慮する。

鉄道営業時間外では、鉄道は利用できない。

ある場所を起点とする自動車あるいは自転車をを用いたトリップを実行する場合、その場所にその個人が利用可能な自動車あるいは自転車がなければならない。

再び固定活動実行のために立ち寄る予定のない場所（自宅、職場以外の場所等）に、自動車あるいは自転車を放置したまま、異なる場所に移動することはできない。

ここで、 α や β を導入することで、シミュレーション内の個人は、自宅をベースとするトリップチェーンを実行する際に自動車で外出した場合、全てのトリップで自動車を利用することになる。逆に、その際に電車で外出した場合には、全てのトリップにおいて自動車を利用することができない。なお、本シミュレータでは、これらの制約を導入するために、7.2 で述べたように、対象個人が自動車トリップを実行するたびに自動車の位置を移動させ、対象個人が利用可能な自動車の空間的位置を常にシミュレートしている。なお、利用可能な自動車としては、自動車保有台数が0の個人については、自宅を起点とする自動車トリップを実行することはないと仮定している。

最後に、目的地認知制約とは、ある場所を自由活動の実行場所として認識していない場合には、その場所で自由活動を実行することはできない、という制約である。ここで、シミュレーション計算実行時に、対象個人の全ての目的地の認知状況について調べ、それらを入力データとして外生的に与えることはほぼ不可能である。そこで、本シミュレータでは、個人の目的地の認知を確率事象と捉え、5.3.3 に述べた PCATS を構築する際に用いたものと同様に、プロビットモデルを適用して、各目的地を自由活動場所として認識する確率を以下のように定式化した。

$$P_{rec}^n(k) = \Phi(\mathbf{B}\mathbf{W}_{nk} - \theta) \quad (7-3)$$

ここに，

- $P_{rec}^n(k)$: 個人 n が場所 k を自由活動場所として認識する確率
- \mathbf{B} : パラメータベクトル
- θ : しきい値
- \mathbf{W}_{nk} : 外生変数ベクトル
- $\Phi(\cdot)$: 標準正規分布関数

シミュレーション実行時には，各対象個人ごとに，式(7-3)から各々の目的地が自由活動場所として認識される確率，認知されない確率を求め，その確率に基づいてモンテカルロシミュレーションを実行して，認知されない，という事象がシミュレーションによって選択された場合には，その個人はその場所では自由活動を実行できないものとした．なお，外生変数 \mathbf{W}_{nk} としては，現在場所から目的地 k を経由して次の固定活動場所に移動する際の所要時間と直接次の固定活動場所に移動する際の所要時間との差，および，地域 k のサービス事業所数を用いた．また，各未知パラメータ値としては，5.3.3 で述べたものをそのまま用いた．

なお，これらの3制約条件は，いずれも PCATS で仮想個人の生活パターンを逐次的に生成する際に考慮している制約条件と同一である．

(3) 生活効用関数 $U^n(\cdot)$ の定式化

前章，6.2.2 において生活効用関数を定式化したときの考え方と同様に，個人の生活効用を，時間資源を投入して自己生産される活動サービスを消費することで得られる効用と，活動サービスの消費を伴わない効用の和という形で定式化することとした．すなわち，

$$U^n(\mathbf{S}) = UC^n(\mathbf{S}) + UE^n(\mathbf{S}) \quad (7-4)$$

ここに，

- $UC^n(\cdot)$: 活動サービスの消費に伴う効用についての効用関数
- $UE^n(\cdot)$: 活動サービスの消費を伴わない効用についての効用関数

そして， $UC^n(\cdot)$ を，個々の活動で得られる効用の総和という形で定式化し，かつ，個々の活動の効用は活動時間，および，活動内容によって異なるものと考え，以下のように定式化した．なお，活動内容としては，7.2 で PCATS-RUM で考慮する活動として定義した在宅活動と宅外自由活動の2つを考えることとした．

$$UC^n(\mathbf{S}) = \sum_{i(s)=1}^{I(s)} \alpha_{i(s)}^n \ln(DP_{i(s)}) + \sum_{j(s)=1}^{J(s)} \beta_{j(s)}^n \ln(DH_{j(s)}) \quad (7-5)$$

ここに，

$i(s)$: 行列 \mathbf{S} で表現される生活パターンにおける，宅外自由活動の番号(= 1, 2, 3,..., $I(s)$)

$j(s)$: 行列 \mathbf{S} で表現される生活パターンにおける，在宅の番号 (= 1, 2, 3,..., $J(s)$)

$DP_{i(s)}$: 宅外自由活動 $i(s)$ の実行時間

$DH_{j(s)}$: 在宅活動 $j(s)$ の実行時間

$\alpha_{i(s)}^n$: 個人 n , および，宅外自由活動 $i(s)$ に固有の係数

$\beta_{j(s)}^n$: 個人 n , および，在宅 $j(s)$ に固有の係数

ここで，宅外自由活動，在宅の双方において対数関数を用いているのは，前章の式(6-16)，(6-17)を定式化する際に述べた仮定と同様に，宅外自由活動，在宅の双方とも限界効用は活動時間に逆比例して逓減していくものと考えたためである．

この式(7-5)における係数 $\alpha_{i(s)}^n$, $\beta_{j(s)}^n$ は，それぞれ宅外自由活動と在宅活動の限界効用の大きさを規定する係数であり，これらは個人属性，世帯属性，活動場所といった外生変数に影響を受けるものと考え，以下のように定式化した．

$$\alpha_{i(s)}^n = \exp(\mathbf{A}\mathbf{X}_{i(s)}^n + \varepsilon_{i(s)}^n) \quad (7-6)$$

$$\beta_{j(s)}^n = \exp(\mathbf{B}\mathbf{X}_{j(s)}^n + \varepsilon_{j(s)}^n) \quad (7-7)$$

ここに，

$\mathbf{X}_{i(s)}^n$: 個人 n , および，行列 \mathbf{S} で表現される生活パターンにおける宅外自由活動 $i(s)$ に固有の外生変数ベクトル

$\mathbf{X}_{j(s)}^n$: 個人 n , および，行列 \mathbf{S} で表現される生活パターンにおける在宅 $j(s)$ に固有の外生変数ベクトル

\mathbf{A}, \mathbf{B} : パラメータベクトル

$\varepsilon_{i(s)}^n, \varepsilon_{j(s)}^n$: 誤差項

なお，これらの式で指数関数を用いているのは，前章で示した SP データを用いた推定計算の結果，宅外自由活動と在宅活動の双方とも，正の限界効用を持つ活動サービスであるということが統計的に示されたからである．

一方、活動サービスの消費に伴わない効用についての効用関数 $UE^n(\cdot)$ については、前章 6.2.2 の式 (6-8) と同様に、誤差項を導入した線形関数で表現することとした。すなわち、

$$UE^n(\mathbf{S}) = \mathbf{Z}_S^n + \xi_S^n \quad (7-8)$$

ここに、

Γ : パラメータベクトル

\mathbf{Z}_S^n : 個人 n , および行列 \mathbf{S} で表現される生活パターンに固有の変数ベクトル

ξ_S^n : 誤差項

以上のように定式化した式 (7-4) ~ 式 (7-8) より、生活効用関数は以下となる。

$$U^n(\mathbf{S}) = \sum_{i(s)=1}^{I(s)} \exp(\mathbf{A}\mathbf{X}_{i(s)}^n + \varepsilon_{i(s)}^n) \ln(DP_{i(s)}) + \sum_{j(s)=1}^{J(s)} \exp(\mathbf{B}\mathbf{X}_{j(s)}^n + \varepsilon_{j(s)}^n) \ln(DH_{j(s)}) + \mathbf{Z}_S^n + \xi_S^n \quad (7-9)$$

7.3.2 未知パラメータの推定方法

本項では、生活効用関数における未知パラメータ \mathbf{A} , \mathbf{B} , Γ の推定計算方法について述べる。本章では、これらのパラメータを推定するに当たって、大阪湾岸パネルにおける 1995 年の Wave 3 で収集されたダイアリーデータを用いることとした。以下、本項では、(1) で未知パラメータの推定計算についての基本的な考え方について、(2) でパラメータ \mathbf{A} , \mathbf{B} の推定計算について、そして (3) でパラメータ Γ の推定方法についてそれぞれ述べることとする。

(1) 生活効用関数内の未知パラメータの推定計算における基本的な考え方

式 (7-1) に示した効用最大化の仮定に基づくと、ダイアリーデータで観測されている生活パターン (以下、観測生活パターン) について、以下の 2 つの必要条件が演繹される。

必要条件 1) 観測生活パターンでは、活動時間が最適に配分されている。

必要条件 2) 観測生活パターンは、その生活パターンが実行された時と同一の制約条件下で任意に生成された生活パターンで構成される生活パターン集合に、その観測生活パターンを加えた集合の中で、最大の効用を与える。

本章では、必要条件 1) に基づいて活動サービスの消費に伴う効用に影響を与えるパラメータ \mathbf{A} , \mathbf{B} についての尤度関数を誘導し、これを最大化することでパラメータ \mathbf{A} , \mathbf{B} を推定する。もし

て、後者の必要条件 2) から、パラメータ Γ についての尤度関数をパラメータ A, B を与件として与えた形で離散選択モデルの枠組みで誘導し、これを最大化することで、活動サービスの消費を伴わない効用のパラメータ Γ を推定する。

ここで、前者の必要条件 1) は活動時間という連続変数の選択問題を取り扱う時間配分モデルの効用関数を推定する際に頻繁に用いられる条件である。一方、後者の必要条件 2) は、離散選択モデルの効用関数を推定する際に用いられる条件である。したがって、このような推定計算によって構築される選択モデルは、離散変数と連続変数の双方を取り扱うことのできる離散-連続モデルである。ただし、次節 7.3.3 で後述するが、シミュレーションで個人の生活パターンを生成するにあたっては、膨大な選択肢集合から最適生活パターンを近似的に検出するために時間を離散変数として取り扱い、その上で、動的計画法を用いるという方法を用いている。

ここで、後者の推定計算における「観測生活パターンが実行された時と同一の制約条件の下で任意に生成された生活パターンで構成される生活パターン集合」については、第五章で述べた生活行動シミュレータ PCATS を用いて生成した。また、後者の必要条件 2) に基づいて誘導される尤度関数には、全てのパラメータ A, B, Γ の関数と見なすことが可能であり、したがって、この必要条件 2) のみから全てのパラメータを同時推定することが可能ではある。しかし、本章では、必要条件 1) が存在すること、ならびに、式 (7-9) に示した効用関数からも分かるように後者の同時推定時の尤度関数が極めて複雑な非線形関数となること、という二点より、このような段階推定法を用いることとした。

(2) 最適時間資源配分問題の考え方に基づく活動サービス消費効用のパラメータ A, B の推定計算

観測生活パターンは先述の必要条件 1) を満たすことを考えると、観測生活パターン S^* は、以下の最適化問題の解として与えられる生活パターンに一致することとなる^[1]。

$$U^n(S) \quad \max \quad (7-10)$$

$$\text{S.T.} \quad \mathbf{d} = \mathbf{d}^* \quad (7-11a)$$

$$\mathbf{z} = \mathbf{z}^* \quad (7-11b)$$

$$\text{プリズム制約} \quad (7-11c)$$

$$\text{交通機関制約} \quad (7-11d)$$

$$\text{目的地認知制約} \quad (7-11e)$$

ここに、

$\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*$: 観測生活パターンにおける活動内容順列ベクトル、ならびに、活動場所順列ベクトル

さて、この式(7-11b)の「 $\mathbf{z} = \mathbf{z}^*$ 」なる制約条件、ならびに(7-11c)のプリズム制約は、各活動に配分可能な時間資源も固定していることを意味する^[2]。そして、この最適化問題の決定変数は、各活動の実行時間である^[3]ことを考えると、この最適化問題を、以下のように定義することができる。

$$U^n \left(DP_1(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), DP_2(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), \dots, DP_I(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), DH_1(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), DH_2(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), \dots, DH_J(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*) \right) \quad \max \quad (7-12)$$

$$\text{S.T.} \quad TFD(\mathbf{S}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*) = \sum_i DP_i(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*) + \sum_j DH_j(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*) \quad (7-13)$$

ここに、

$U^n(\cdot, \dots, \cdot)$: 個人 n の生活効用関数(式(7-9)に定式化した生活効用関数を、活動時間の関数として表記したもの)

$DP_i(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*)$: 活動内容順列ベクトルが \mathbf{d}^* であり、かつ、活動場所順列ベクトルが \mathbf{z}^* である生活パターンにおける、 i 番目の宅外自由活動の実行時間

$DH_j(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*)$: 活動内容順列ベクトルが \mathbf{d}^* であり、かつ、活動場所順列ベクトルが \mathbf{z}^* である生活パターンにおける、 j 番目の在宅の実行時間

$TFD(\mathbf{S}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*)$: 活動内容順列ベクトルが \mathbf{d}^* であり、かつ、活動場所順列ベクトルが \mathbf{z}^* である生活パターンにおける、在宅活動、宅外活動に配分可能な時間資源量

この最適化問題を解くと、以下の式が誘導される。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial U^n \left(DP_1(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), DP_2(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), \dots, DP_I(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), DH_1(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), DH_2(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), \dots, DH_J(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*) \right)}{\partial DH_j(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*)} \\ &= \frac{\partial U^n \left(DP_1(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), DP_2(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), \dots, DP_I(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), DH_1(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), DH_2(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*), \dots, DH_J(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*) \right)}{\partial DP_j(\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*)} \quad \forall i, j, n \quad (7-12) \\ &= K_{n, (\mathbf{s}|\mathbf{d}^*, \mathbf{z}^*)} \end{aligned}$$

ここに，

$K_{n,(s|d^*,z^*)}$ ：個人 n ，ならびに，その観測生活パターンに固有な定数

ここで，式（7-12）に式（7-9）の生活効用関数を導入すると，以下の式が導かれる．

$$\frac{\exp\left(\mathbf{A}\mathbf{X}_{i(s|d^*,z^*)}^n + \varepsilon_{i(s|d^*,z^*)}^n\right)}{DP_{i(s|d^*,z^*)}} = \frac{\exp\left(\mathbf{B}\mathbf{X}_{j(s|d^*,z^*)}^n + \varepsilon_{j(s|d^*,z^*)}^n\right)}{DH_{j(s|d^*,z^*)}} = K_{n,(s|d^*,z^*)} \quad \forall i, j, n \quad (7-13)$$

先に述べたように，式（7-10），式（7-11a）～式（7-11e）の最適化問題の解として与えられる生活パターンは，観測生活パターンに一致する．したがって，観測生活パターン s^* における各活動の活動時間 $DP_{i(s^*)}$ $DH_{j(s^*)}$ は式（7-13）を満たしている．また，

$$j(s|d^*,z^*) = j(s^*) \quad (7-14a)$$

$$i(s|d^*,z^*) = i(s^*) \quad (7-14b)$$

である^[4]ため，式（7-13）は，以下のように変形できる．

$$\frac{\exp\left(\mathbf{A}\mathbf{X}_{i(s^*)}^n + \varepsilon_{i(s^*)}^n\right)}{DP_{i(s^*)}} = \frac{\exp\left(\mathbf{B}\mathbf{X}_{j(s^*)}^n + \varepsilon_{j(s^*)}^n\right)}{DH_{j(s^*)}} = K_{n,(s|d^*,z^*)} \quad \forall i, j, n \quad (7-15)$$

この式から，以下の連立式が誘導される．

$$\frac{DH_{j(s^*)}}{DP_{l(s^*)}} = \frac{\exp\left(\mathbf{B}\mathbf{X}_{j(s^*)}^n + \varepsilon_{j(s^*)}^n\right)}{\exp\left(\mathbf{A}\mathbf{X}_{l(s^*)}^n + \varepsilon_{l(s^*)}^n\right)} \quad \forall j, n \quad (7-16a)$$

$$\frac{DP_{i(s^*)}}{DP_{l(s^*)}} = \frac{\exp\left(\mathbf{A}\mathbf{X}_{i(s^*)}^n + \varepsilon_{i(s^*)}^n\right)}{\exp\left(\mathbf{A}\mathbf{X}_{l(s^*)}^n + \varepsilon_{l(s^*)}^n\right)} \quad \forall i, n (i \neq l) \quad (7-16b)$$

これらを変形すると，

$$\ln \left(\frac{DH_{j(s^*)}}{DP_{1(s^*)}} \right) = \mathbf{B} \mathbf{X}_{j(s^*)}^n - \mathbf{A} \mathbf{X}_{1(s^*)}^n + \pi_{j(s^*)}^n \quad \forall j, n \quad (7-17a)$$

$$\ln \left(\frac{DP_{i(s^*)}}{DP_{1(s^*)}} \right) = \mathbf{A} \left(\mathbf{X}_{i(s^*)}^n - \mathbf{X}_{1(s^*)}^n \right) + \pi_{i(s^*)}^n \quad \forall i, n (i \neq 1) \quad (7-17b)$$

ここに，

$$\pi_{j(s^*)}^n = \varepsilon_{j(s^*)}^n - \varepsilon_{1(s^*)}^n \quad (7-18a)$$

$$\pi_{i(s^*)}^n = \varepsilon_{i(s^*)}^n - \varepsilon_{1(s^*)}^n \quad (7-18b)$$

である．

ここで，本章では， $\pi_{j(s^*)}^n$ ， $\pi_{i(s^*)}^n$ がいずれも平均 0，分散 σ^2 の独立な正規分布に従うと仮定し

て^[5]，式 (7-17a)，式 (7-17b) を重回帰式と見なし，パラメータ \mathbf{A}, \mathbf{B} を推定した．

推定にあたっては，上述のダイアリーデータから抽出した個々の観測生活パターンから，式 (7-17a)，式 (7-17b) の左辺の時間比の対数を算定した．なお，一人の個人からは算定される時間比はその個人が実行している在宅活動，宅外自由活動の数によって異なっており，場合によっては一個人から複数個の時間比の対数を算定した^[6]．そして，こうして算定した時間比の対数を説明する変数として，表 7-1 に示したそれぞれの説明変数を仮定した．ここで，在宅自由活動のダミー変数を定義するにあたり，在宅自由活動の種類を以下の 6 つのカテゴリー（以下，在宅種）に分類することとした．

在宅種 1 ：起床直後の在宅自由活動

在宅種 2 ：就寝直前の在宅自由活動

在宅種 3 ：就寝直前・起床直後のいずれでもなく，かつ，直後に自宅での固定活動を実行している在宅自由活動

在宅種 4 ：就寝直前・起床直後のいずれでもなく，かつ，直前に自宅での固定活動を実行している在宅自由活動

在宅種 5 ：就寝直前・起床直後のいずれでもなく，かつ，直前にも直後にも自宅での固定活動を実行していない在宅自由活動

在宅種 6 ：起床直後でありかつ就寝直前の在宅自由活動

ここで、本章で用いたサンプルにおける在宅自由活動の上記の 6 つの在宅種別の活動数についての頻度分布を調べたところ、在宅種 6 の頻度は 0 であった。このことから、getup, sleep, afix, bfix を定義し、これを効用関数に導入することとした。また、世帯内の続柄としては、

父	: 子と同居している男性
母	: 子と同居している女性
子	: 父あるいは母と同居している人
ひとり	: 同居者なし
その他	: その他の人

の 5 つを考えた。

以上の前提に基づいて、最小二乗法に基づいて推定計算を行った結果を表 7-2 に示す。

まず、表 7-2 より、 R^2 値は 0.21 と十分に良い適合度が得られているとはいえない。しかし、表 7-2 で推定されたパラメータ推定値を用いて式 (7-17a)、式 (7-17b)、ならびに、式 (7-13) の連立方程式の解として与えられる各活動時間の分布を用いて、各々の活動時間の期待値を算出し、その期待値と実測値との相関係数を求めたところ、0.58 と良好な適合度が得られた。このことは、活動時間の比の対数については十分な適合度が得られなかったが、制約条件考慮した場合には活動時間について良好な適合度が得られていることを示している。

表 7-1 活動サービスの消費効用についてのパラメータ推定に用いた外生変数

在宅活動についての説明変数	
getup	1: その在宅活動が起床直後の在宅自由活动（在宅種 1）のとき， 0: そうでないとき
sleep	1: その在宅活動が就寝直前の在宅自由活动（在宅種 2）のとき， 0: そうでないとき
afix	1: その在宅活動が起床直後・就寝直前のいずれでもなく，かつ，直後に自宅での固定活動を実行している在宅自由活动（在宅種 3）のとき， 0: そうでないとき
bfix	1: その在宅活動が起床直後・就寝直前のいずれでもなく，かつ，直前に自宅での固定活動を実行している在宅自由活动（在宅種 4）のとき， 0: そうでないとき
hhtime2	その在宅活動の開始時刻以前に，その当日に実行した在宅活動累計時間の 2 乗
宅外活動についての説明変数	
ostart1	1: 宅外自由活动で開始時刻が，10 時以前のとき 0: そうでないとき
ostart2	1: 宅外自由活动で開始時刻が，16 時以降のとき 0: そうでないとき
service	その活動主体が実行した宅外自由活动場所のサービス事業所数密度
ootime2	その宅外活動の開始時刻以前に，その当日に実行した宅外活動累計時間の 2 乗
ohtime2	その宅外活動の開始時刻以前に，その当日に実行した在宅活動累計時間の 2 乗
個人属性，世帯属性についての説明変数	
father	1: その活動主体の世帯内続柄が父親であるとき， 0: そうでないとき
mother	1: その活動主体の世帯内続柄が母親であるとき， 0: そうでないとき
child	1: その活動主体の世帯内続柄が子供であるとき， 0: そうでないとき
age	その活動主体の年齢，
sex	1: その活動主体が個人が男性であるとき， 0: そうでないとき
occ	1: その活動主体が就業者であるとき， 0: そうでないとき

次に，説明変数のパラメータの推定結果について述べる．なお，本章の効用関数の定義より，パラメータの値の大小は，限界効用の大小を意味している．すなわち，パラメータの値が大きいほど，限界効用は大きく，活動時間の増加に対する限界効用の逓減率は低下し，その結果として，活動時間が長くなる．逆に，パラメータの値が小さいほど，限界効用の逓減し易くなり，活動時間は短くなる．

まず，在宅自由活动に関する説明変数のパラメータについて述べる．getup, sleep, afix, bfix のパラメータの推定結果より，直前と直後の双方において宅外の自由活动を実行した場合の在宅自由活动（在宅種 5）は，その他の在宅種の在宅自由活动に比べて，限界効用が小さく，実行時間が短くなる傾向にあることがわかる．一方，各在宅種の中で，最も限界効用が大きく，

実行時間が長くなる傾向にあるのは、就寝直前（在宅種 2）であることが示されている。これは、就寝前には、食事や入浴等、種々の活動を行う必要があり、在宅に多くの時間を費やしたいという、個人の傾向を反映しているものと考えられる。就寝直前に次いで、限界効用は大きいのは、順番に、直後に自宅での固定活動を実行しているとき（在宅種 3）、起床直後（在宅種 1）、直前に自宅での固定活動を実行しているとき（在宅種 4）となっている。

また、father \times getup, mother \times sleep の係数の推定結果からは、父親の起床直後の在宅自由活動時間は他の人と比べて短く、母親の就寝直前の在宅自由活動時間は他の人と比べて長いということが示された。これは、父親は朝早くに仕事に行き、母親は家事等をするために家に早く帰ってくる等が原因と考えられる。一方で、就寝直前の在宅自由活動時間は、高齢の人ほど、就業者ほど、そして、男性より女性の方が短い等という結果が示されている。これは、これらの個人属性をもった個人は、早く就寝する傾向にあることが反映されているものと考えられる。

hhtime2 の係数の推定値は、在宅活動累計時間が多いほど在宅自由活動時間が短いという結果を示している。これは、1 日を通じて、多くの時間を在宅自由活動に費やしている場合には、その後に実行する在宅自由活動の限界効用が小さく、かつ、限界効用の逓減率が大きくなる、ということを示しているものと考えられる。すなわち、長い時間を在宅に費やすことで、個人が在宅自由活動に飽きてしまうということを反映しているものと考えられる。

次に、宅外自由活動についての結果を述べる。ostart1 の係数の推定結果より、午前中に実行する宅外自由活動の方が、午後に実行する宅外自由活動よりも、限界効用が大きく、実行時間が長くなることがわかる。目的地属性については、service の係数の推定結果より、その場所のサービス事業所数密度が大きいほど、宅外自由活動時間は長くなるという結果となった。これは、繁華街等での宅外自由活動の方が、より魅力的な活動であることを示しているものと考えられる。なお、この傾向は、年齢が大きくなればなるほど、また、世帯の続き柄が父親あるいは子供の場合は、小さくなるという結果が示された。

また、ootime2 の推定結果から、宅外活動累計時間が多いほど宅外自由活動時間は短いということがわかった。これは、在宅自由活動と同様に、「宅外自由活動を多く行うことで、宅外自由活動に飽きてしまう」という傾向を示しているものと考えられる。また、ohtime2 の推定結果は、在宅活動累計時間が多いほど宅外自由活動時間が長くなるという結果を示している。これは、在宅自由活動ばかりしていると、宅外自由活動がより魅力的に思えてくる、という効果を反映しているものと考えられる。

表 7-2 活動サービスの消費効用についてのパラメータ推定結果

	変数	パラメータ	t値
A	ostart1	0.5	3.92
	ostart2	-0.15	-1.17
	service	0.0042	2.31
	service × father	-0.0015	-1.61
	service × child	-0.0019	-1.54
	service × age	-6.60E-05	-1.74
	ootime2	-2.70E-06	-2.31
	oohtime2	8.20E-06	5.54
B	getup	0.5	2.66
	getup × father	-0.53	-1.96
	getup × occ	-0.58	-2.14
	getup × sex	0.48	1.48
	sleep	1.03	2.37
	sleep × mother	1.43	3.64
	sleep × age	-0.01	-1.57
	afix	0.64	3.61
	afix × occ	-0.78	-2.49
	bfix	0.26	1.71
	hhtime2	-2.80E-06	-2.01

Sample Size =722, $\sigma^2 = 1.72$, $R^2 = 0.21$

(3) 離散選択問題の考え方に基づく活動サービスの消費を伴わない効用のパラメータ Γ の推定計算

活動サービスの消費を伴わない効用のパラメータ Γ を推定するにあたっては、本項(1)で既に述べたように、

「ダイアリーデータで観測されている観測生活パターンは、その生活パターンが実行された時と同一の制約条件の下で任意に生成された生活パターンで構成される生活パターン集合に、その観測生活パターンを加えた集合の中で最大の効用を与える生活パターンである。」

という、式(7-1)に示した効用最大化原理から演繹される観測生活パターンについての必要条件に基づいて、そして、式(7-8)で定義した誤差項 ζ_S^n を独立で同一のガンベル分布と仮定して、ロジットモデルの枠組みを用いる。

この推定計算を行うにあたって、誤差項 $\varepsilon_{i(s)}^n$ 、 $\varepsilon_{j(s)}^n$ の分布を考慮した上で尤度関数を定式化するためには、在宅活動数と宅外自由活動数を加えた数に等しいだけの多重積分が必要となる。個人によっては、一つの自由時間帯の中で5つや6つ、あるいはそれ以上の宅外自由活動や在宅活動を行っていることは十分考えられ、したがって、誤差項 $\varepsilon_{i(s)}^n$ 、 $\varepsilon_{j(s)}^n$ の分布を考慮した上でパラメータを推定することは極めて困難であることが考えられる。そこで本章では、Instrumental Variables の考え方¹⁴⁾を用いて、既に(2)で得られているパラメータ A 、 B 、ならびに誤差項の分散 σ^2 の推定値を用いて、個人 n のある生活パターン S の活動サービスに伴う効用の総和 $UC^n(S)$ の期待値を式(7-19)より求め、これを用いて式(7-20)の尤度関数を定式化し、これを最大化することでパラメータ Γ を推定することとした。

$$\overline{UC^n(S)} = \sum_{i(s)=1}^{I(s)} \exp\left(\bar{A}X_{i(s)}^n + \frac{\bar{\sigma}^2}{2}\right) \ln(DP_{i(s)}) + \sum_{j(s)=1}^{J(s)} \exp\left(\bar{B}X_{j(s)}^n + \frac{\bar{\sigma}^2}{2}\right) \ln(DH_{j(s)}) \quad (7-19)$$

ここに、

$\overline{UC^n(S)}$: 生活パターン S の活動サービスに伴う効用の総和 $UC^n(S)$ の期待値

\bar{A} 、 \bar{B} 、 $\bar{\sigma}^2$: それぞれ A 、 B 、 σ^2 の推定値

$$L = \prod_n \frac{\exp\left(\alpha \overline{UC^n(S^*)} + Z_{S^*}^n\right)}{\sum_{k \in \Omega^n} \exp\left(\alpha \overline{UC^n(S(k))} + Z_{S(k)}^n\right)} \quad (7-20)$$

ここに、

L : 尤度関数

Ω^n : 個人 n が実行可能な生活パターン集合 Ω の部分集合

k : 生活パターン選択肢のラベル

α : パラメータ

$S(k)$: 生活パターン選択肢 k の生活パターン S

S^* : 観測生活パターン

ここで、式(7-20)を最大化することでパラメータを推定するためには、各個人 n について、その個人 n が実行可能な生活パターン集合 Ω^n の部分集合を設定することが不可欠である。

生活効用モデルでは、式(7-1)に示したような生活パターンの意思決定を仮定している。し

たがって、各個人にとって実行可能な生活パターンとは、式(7-1)に示したプリズム制約、交通機関制約、目的地認知制約という3つの制約条件を満たす生活パターンであり、当然ながら、個人 n の実行可能な生活パターン集合の部分集合 Ω^n も、これらの3つの制約条件を満たす生活パターンで構成されることとなる。本章では、これらの3つの制約条件を満たす生活パターンを複数生成するにあたって、第五章で述べた、これらの3つの制約条件と全く同一の制約条件を考慮した上で個人の生活パターンを生成するシミュレーションモデル PCATS を用いることとした^[7]。ここでは各個人について10個の生活パターンを PCATS を用いて生成し、これに、その個人が実際に実行し、ダイアリーデータで観測されている観測生活パターンを加えた11個の生活パターンで構成される集合を Ω^n とした。

一方、活動サービスの消費を伴わない効用の説明変数 $Z_{S(k)}^n$ については、表7-3に示した外生変数を考慮した。なお、第六章では考慮していた残業手当、および、帰宅時刻、外出時刻については、ここでは考慮しなかった。残業手当を外生変数には導入しなかったのは、今回の推定計算では勤務時間帯を固定時間帯と仮定して PCATS で代替生活パターンを生成したため、残業時間の増減に伴う残業手当の増減が生活パターンの選択に及ぼす影響を抽出することが不可能であるためである。また、帰宅時刻、外出時刻を考慮しなかったのは、ここでは、第六章に示した SP 調査で想定したような一日の時間帯における生活パターンの選択ではなく、自由時間帯における生活パターンの選択を再現するための生活効用モデルの構築を目指しているためである。ただし、表7-3に示したように、金銭要因としては移動に伴う総費用を考慮するとともに、SP 実験では実験の複雑化のために導入することができなかった、トリップチェーンの形態を表すいくつかの指標を導入することとした。

表 7-3 活動サービスの消費に伴わない効用についての説明変数

説明変数名	定義
COST	: 移動に伴う総費用
Train-HomeFlex	: 電車を利用した, 宅外自由活動目的での自宅からの外出回数
Car-HomeFlex	: 自動車を利用した, 宅外自由活動目的での自宅からの外出回数
Bicycle-HomeFlex	: 自転車を利用した, 宅外自由活動目的での自宅からの外出回数
Walk-HomeFlex	: 徒歩での, 宅外自由活動目的での自宅からの外出回数
Train-HomeFix	: 電車を利用した, 宅外固定活動目的での自宅からのトリップを含む場合 1, それ以外 0
Car-HomeFix	: 自動車を利用した, 宅外固定活動目的での自宅からのトリップを含む場合 1, それ以外 0
Bicycle-HomeFix	: 自転車を利用した, 宅外固定活動目的での自宅からトリップを含む場合 1, それ以外 0
Car-FixHome	: 自動車を利用した, 宅外固定活動からの帰宅トリップを含む場合 1, それ以外 0
Bicycle-FixHome	: 自転車を利用した, 宅外固定活動からの帰宅トリップを含む場合 1, それ以外 0
Train-FixFlex	: 電車を利用した, 宅外固定活動から宅外自由活動へのトリップを含む場合 1, それ以外 0
Car-FixFlex	: 自動車を利用した, 宅外固定活動から宅外自由活動へのトリップを含む場合 1, それ以外 0
Bicycle-FixFlex	: 自転車を利用した, 宅外固定活動から宅外自由活動へのトリップを含む場合 1, それ以外 0
Walk-FixFlex	: 徒歩での, 宅外固定活動から宅外自由活動へのトリップを含む場合 1, それ以外 0
Train-FixFix	: 電車を利用した, 宅外固定活動から宅外固定活動へのトリップを含む場合 1, それ以外 0
Car-FixFix	: 自動車を利用した, 宅外固定活動から宅外固定活動へのトリップを含む場合 1, それ以外 0
Bicycle-FixFix	: 自転車を利用した, 宅外固定活動から宅外固定活動へのトリップを含む場合 1, それ以外 0

・ 各トリップについて代表交通機関を, 以下の優先順位に基づいて一つづつ定義した。
優先順位 1=公共交通機関, 優先順位 2=自動車, 優先順位 3=自転車, 優先順位 4=徒歩
・ なお, PCATS は, 個々の移動で複数の交通機関を利用するトリップは生成しないため, 上記の処理を行わなかったが, ダイアリーデータから抽出したデータについては, 上記の処理を行った。

以上の前提に基づいて推定計算を行った結果を表 7-4 に示す。なお, 表 7-4 に示した変数以外にも, 各代替生活パターンに含まれる全てのトリップを, 出発地, 目的地, および交通機関の組み合わせによって分類し(以下, これをトリップ種別と呼ぶ), それぞれについてトリップ回数を求め, それを変数として導入したが, t 検定を行なった結果, 表 7-4 に示した説明変数のみが有意なパラメータを持つこととなった。なお, トリップの起終点としては, 自宅, 宅外自由活動場所, 宅外固定活動場所の 3 つを, 移動機関については自動車, 公共交通機関, 徒歩, 自動車の 4 つを考えた。

表 7-4 活動サービスの消費に伴わない効用についてのパラメータ Γ の推定結果

	パラメータ	t値
$UC^n(S)$	0.10	11.93
<i>Cost</i>	-0.00083	-3.52
<i>Train-HomeFlex</i>	-5.42	-4.52
<i>Car-HomeFlex</i>	-5.07	-6.6
<i>Bicycle-HomeFlex</i>	-3.69	-7.96
<i>Walk-HomeFlex</i>	-3.83	-5.78
<i>Train-HomeFix</i>	-1.68	-5.09
<i>Car-HomeFix</i>	-2.14	-6.72
<i>Bicycle-HomeFix</i>	-2.82	-6.87
<i>Car-FixHome</i>	-2.33	-8.38
<i>Bicycle-FixHome</i>	-2.70	-6.34
<i>Train-FixFlex</i>	-2.61	-6.42
<i>Car-FixFlex</i>	-2.97	-7.54
<i>Bicycle-FixFlex</i>	-4.06	-8.06
<i>Walk-FixFlex</i>	-2.03	-6.33
<i>Train-FixFix</i>	-2.9	-4.66
<i>Car-FixFix</i>	-3.29	-7.92
<i>Bicycle-FixFix</i>	-3.36	-3.93

sample size = 752, $L(c) = -4042.25$, $L(\beta) = -3037.09$, $\chi^2 (df = 18) = 2010.32$

まず、モデルの適合度としては、 χ^2 値が 2010.32 と十分に大きな値が得られており、本モデルが統計的に有意であることが確認できる。

活動効用の係数 α に着目すると、正であり、かつ、t 値も十分に大きな値をとっており、これより、個人が大きな活動効用を与える生活パターンを選択する確率が高いことが分かる。また、費用に関しては、有意に負のパラメータが得られた。これは、費用がかかるほど効用が逡減することを意味している。

次に、トリップ種別に対応したトリップ回数、および、ダミー変数に着目すると、全ての変数について有意に負のパラメータが推定された。これは、ここに有意な係数が推定されなかったトリップ種別は、係数が推定されたトリップ種別に比べて、移動を実行することについての抵抗感が小さいことを意味している。宅外自由活動場所から自宅、次の宅外自由活動場所、次の宅内自由活動場所へ向かうそれぞれのトリップについては、いずれの交通機関についても有意なパラメータが得られなかったが、これは、自由活動を行なっているという条件の下では、いずれの交通機関についても移動抵抗をさほど感じていないことを意味しているものと考えられる。ただし、移動を多く実行することで、活動に費やす時間が減少し、その結果活動効用が減少するため、有意な係数が推定されなかったトリップ種別のトリップを実行することでも生

活効用は低下することになる。特に、公共交通機関を利用したトリップ、高速道路を利用する自動車トリップを実行した場合には、どのような起終点を持つ OD トリップであっても、移動費用がかかるため、その効果によって生活効用は減少することとなる。

まず、これらのトリップ種別ごとのパラメータを概観すると、いずれの起終点であっても、固定活動場所に外出する場合以外は、徒歩での移動抵抗が少ないという結果が得られている。この結果は、徒歩については、その他の交通機関と異なり、何らかの車両を利用せずに各個人の身一つで実行可能なものであることが原因であると考えられる。

ここで、トリップの起点が自宅である場合の各変数に着目する。*Train-HomeFlex* , *Car-HomeFlex* , *Bicycle-HomeFlex* , *Walk-HomeFlex* のそれぞれのパラメータは自宅からの自由活動目的で外出する際の移動抵抗を意味しており、*Train-HomeFix* , *Car-HomeFix* , *Bicycle-HomeFix* のそれぞれのパラメータは自宅からの固定活動目的で外出する際の移動抵抗を意味している。これらを比較すると、全て交通機関について、自由活動で外出する場合の方が、固定活動で外出する場合よりも大きな抵抗感を持っていることが分かる。このことは、いずれにしても自宅から外出することが予め決まっている場合には、外出についての抵抗感は軽減される一方で、外出する/しないの自由度が存在する場合には移動時間の増加による活動効用の減少という効果に加えて、外出すること自体に抵抗感を持っている、ということを示しているものと考えられる。

次に、宅外の固定活動場所が起点である場合の各変数に着目する。*Car-FixHome* , *Bicycle-FixHome* のそれぞれのパラメータは自宅への、*Train-FixFlex* , *Car-FixFlex* , *Bicycle-FixFlex* , *Walk-FixFlex* のそれぞれのパラメータは宅外自由活動への、*Train-FixFix* , *Car-FixFix* , *Bicycle-FixFix* のそれぞれのパラメータは宅外固定活動への、それぞれの宅外固定活動からの移動抵抗を示している。これらのパラメータを比較すると、ほぼ同様の値となっているものの自宅への抵抗感が若干少ないという傾向が伺える。特に、自宅へ公共交通機関で移動する場合のパラメータとして有意なものが得られなかったことから、固定活動場所から公共交通機関で帰宅することについては、少なくとも統計的に有意なものが得られるほどには抵抗感が大きくはない、ということを示しているものと思われる。さらに、先にも述べたように、徒歩での移動抵抗は、いずれの場合においても小さい、あるいは、有意ではなく、徒歩の手軽さが確認できる。

7.3.3 動的計画法に基づく最適生活パターンの検出

本章 7.2 で図 7-2 を用いて述べたように、PCATS-RUM では、外生データとして与えられる固定活動スケジュールに基づいて対象個人の固定活動を再現した後に、その固定活動に引き続いて時間軸上に存在する自由時間帯における生活パターンを、本節で述べている生活効用モデルで生成する。ここでは、シミュレータ内での生活効用モデルの適用方法について述べる。

生活効用モデルでは、式 (7-1) に示したように、自由時間帯における個人の生活行動意思決定を再現する際、その自由時間帯において実行可能な全ての生活パターンの中で、最大の生活

効用を与える生活パターン，すなわち最適生活パターンを実行しているものとする．この考えに基づいて，生活行動の意思決定を再現する場合，

- 1) プリズム制約，交通機関制約，目的地認知制約の3つの制約条件を全て満たす生活パターンを全て生成し，
- 2) それぞれの生活効用を，生成した各生活パターンの生活パターン行列 S ，対象個人の個人属性，前項で述べたパラメータ推定値，ならびに，前項で述べた各々の誤差項の分散の推定値に基づいて形成される分布に基づいて発生させた乱数を式(7-9)に代入して算定し，
- 3) それらを全て比較することで最大の生活効用を与える生活パターンを検出し，
- 4) それを対象個人に実行させる，

という方法が考えられる．なお，上記1)における目的地認知制約については，全ての目的地について式(7-3)を用いたモンテカルロシミュレーションを用いて認知・非認知を識別する．また，上記の2)の生活効用の算定においては，それぞれについて仮定した誤差分布に基づいてランダム発生させる．したがって，結果として対象個人が実行する生活パターンは確率的に分布することになる．また，上記3)での計算時間を有限とするために上記1)で生成する選択肢集合を有限集合にするためには，連続変数である時間要素を離散変数として取り扱い，かつ，活動数についてもその最大値を設定する必要がある．

しかし，上記1)において，時間要素を離散変数として取り扱い，かつ，活動数の最大値を設定したとしても，選択肢数は莫大な数字となる．PCATS-RUMでは，活動場所として174個，活動内容として2個，交通機関として4個のカテゴリーを考えている．ここで例えば，最大の活動数を5つ，10分の離散化の幅で6時間を取り扱う場合を想定すると，選択肢集合の要素数の最大値は，第六章，6.1.2(2)で述べた式を用いると，

$$\text{約 } 1,264,000,000,000,000,000,000 \text{ 個}$$

という天文学的数字になってしまう．もちろん，この数字は，選択肢集合数の要素数の最大値であり，プリズム制約や交通機関制約等の制約条件を考慮した場合，この数字よりは小さな数字にはなる．しかし，上記の2)，3)に述べたような手順を実行することは，現時点では如何に能力の高い計算機を使おうとも，極めて困難であることが予想される．

本章では，この問題点に対処するために，上記の1)から4)に示した総当たり法による最適生活パターンの検出方法を用いずに，効率的に生活パターンを検出するために動的計画法を用いる．

まず，PCATS-RUMでは，最大活動数 $MAXK$ を規定する．そして，活動数が K 個($K = 1, 2, 3, \dots, MAXK$)であるとした場合の最適生活パターンを動的計画法に基づいてそれぞれ一つずつ検出

し，最後にそれらを比較して最適生活パターンを検出する．

動的計画法に基づいて，活動数を K と固定した場合の最適生活パターンを効率的に検出するにあたっては，まず，以下の変数，および，関数を定義する．

$st(k)$: 対象とする自由時間帯における k 番目の活動の開始時刻 ($k=1, 2, \dots, K$)

$co(k)$: 対象とする自由時間帯における k 番目の活動の内容 ($k=1, 2, \dots, K$)

$pl(k)$: 対象とする自由時間帯における k 番目の活動の場所 ($k=1, 2, \dots, K$)

$mo(k)$: 対象とする自由時間帯における k 番目の活動の直前のトリップでの交通機関 ($k=1, 2, \dots, K$)

$act(k)$: $st(k)$, $co(k)$, $pl(k)$, $mo(k)$ を要素とするベクトル ($act(k) = (st(k), co(k), pl(k), mo(k))$)

$S_{st(k)}^{TS}$: 対象とする自由時間帯の開始時刻 TS から，その自由時間帯で k 番目に実行する活動の開始時刻までの時間帯における生活パターン

$U^n(S_{st(k)}^{TS})$: 生活パターン $S_{st(k)}^{TS}$ における生活効用

$S_{st(k)}^{TS} |^{act(k)}$: k 番目の活動の開始時刻，内容，場所がそれぞれ $st(k)$, $co(k)$, $pl(k)$, であり，かつ， k 番目の活動の直前のトリップの交通機関が $mo(k)$ であるという条件の下で，すなわち，ベクトル $act(k)$ の要素が固定されているという条件の下で，最大の $U^n(S_{st(k)}^{TS})$ を与える生活パターン $S_{st(k)}^{TS}$

なお， $k = 0$ は対象とする自由時間帯の直前の固定活動を， $k = K+1$ は対象とする自由時間帯の直後の固定活動を意味する．

ここで，動的計画法の考え方に基づくと， $k-1$ 番目の活動の開始時刻，内容，場所，および，その活動の直前のトリップの交通機関を固定した場合の，その活動開始時刻までの最適生活パターン，

$$S_{st(k-1)}^{TS} |^{act(k-1)}$$

が，全ての $act(k-1)$ について既知である場合を考えると， k 番目の活動の開始時刻，内容，場所，および，その活動の直前のトリップの交通機関を固定した場合の，その活動開始時刻までの最適生活パターン，

$$S_{st(k)}^{TS} |^{act(k)}$$

は，以下の式に基づいて逐次的に求めることができる．

$$U^n \left(\mathbf{S}_{st(k)}^{TS} \mid^{*act(k)} \right) = \max_{act(k-1)} \left[U^n \left(\mathbf{S}_{st(k-1)}^{TS} \mid^{*act(k-1)} \right) + U^n \left(\mathbf{S}_{st(k)}^{st(k-1)} \mid^{act(k-1)}_{act(k)} \right) \right] \quad (7-21)$$

ここに，

$U^n \left(\mathbf{S}_{st(k)}^{st(k-1)} \mid^{act(k-1)}_{act(k)} \right) : st(k-1), co(k-1), pl(k-1), mo(k-1), st(k), co(k), pl(k), mo(k)$ を固定した場合の， $k-1$ 番目の活動の開始時刻から， k 番目の活動の開始時刻までの生活パターンにおける生活効用．

なお，式（7-21）に示した様な循環式の定式化が可能なのは，個々の活動と移動で得られる効用の総和という形で生活効用関数を定義しているからである^[8]．

さて，PCATS-RUM では，この式（7-21）を用いて，まず，

$$\mathbf{S}_{st(1)}^{TS} \mid^{*act(1)}$$

を，プリズム制約，交通機関制約，目的地認知制約の 3 つの制約条件を満たす全ての $act(1)$ について求める．ただし， $k=0$ の活動とは対象とする自由時間帯の直前の固定活動を意味する．したがって， $act(k-1) = act(0)$ は固定されたものであるため， $k=1$ の場合に最適化計算は不要である．

次に， $\mathbf{S}_{st(1)}^{TS} \mid^{*act(1)}$ を与件として与えた上で，

$$\mathbf{S}_{st(2)}^{TS} \mid^{*act(2)}$$

を， $k=2$ とした式（7-21）に基づいた最適化計算から，3 つの制約条件を満たす^[9]全ての $act(2)$ について求める．最適化計算を行う際に用いる生活効用関数 $U^n(\cdot)$ としては，式（7-9）に前節 7.3.2 で求めた未知パラメータの推定値を導入したものをを用いる．また，式（7-9）における誤差項 $\varepsilon_{i(\cdot)}^n$ ， $\varepsilon_{j(\cdot)}^n$ については，7.3.2 で求めた分散推定値に基づいた正規乱数を用いる．なお，誤差項 ξ^n については，個々の活動，個々の移動の実行によって生じるものではないため，この段階では考慮せず，最後の活動 K の効用を算定する時にのみ考慮する．

これ以降，この $\mathbf{S}_{st(2)}^{TS} \mid^{*act(2)}$ を与件とした形で， $\mathbf{S}_{st(3)}^{TS} \mid^{*act(3)}$ を同様の方法で， $\mathbf{S}_{st(3)}^{TS} \mid^{*act(3)}$ を与件とした形で $\mathbf{S}_{st(4)}^{TS} \mid^{*act(4)}$ をそれぞれ逐次的に求めていき，最終的に自由時間帯の開始時刻 TS から，次の固定活動の開始時刻 $start(K+1)$ までの，最適生活パターン，

$$\mathbf{S}_{st(K+1)}^{TS} \mid^{*act(K+1)}$$

を検出する．ここで， $act(K+1)$ は，データとして唯一のものが与えられており，したがって， $S_{st(K+1)}^{TS} \mid^{act(K+1)}$ も唯一のものが求められる．

先述のように，以上の計算を， $K=1$ から $K=MAXK$ についてそれぞれ実行し，それらで検出された活動数 K の場合の最適生活パターンを相互比較することで，式 (7-1) の解である最適生活パターンを最終的に検出する．

7.4 PCATS-RUM の適用計算事例

7.4.1 PCATS-RUM の適用計算の結果

本シミュレーション PCATS-RUM を用いて，第五章，5.5 で述べた PCATS を用いた数値計算例と同一の仮想個人，仮想状況を想定して数値計算を行った．すなわち，表 7-5 に示す仮想的な個人の仕事終了時刻 17 時から，就寝時刻 22 時までの 5 時間にわたる自由時間帯における生活行動の軌跡を，

基本ケース) 生活環境に変化なし．

ケース 1) 仕事終了時刻が 18 時になる．

ケース 2) 自動車通勤時間が 30 分短くなる．

ケース 3) サービス事業所数が全ての市区町村において現状の 2 倍になる．

のそれぞれのケースにおいて 100 回ずつ再現した．そして，仕事終了後直接自宅に帰る場合を「直帰」，仕事終了後帰宅途上でいずれかの場所で自由活動を一回実行する場合を「寄り道」，仕事終了後直接自宅に帰り，その後に外出して自由活動を一回実行して再び帰宅する場合を「外出」，そして，それら以外のパターンを「その他」として，それぞれのパターンの再現頻度を求めた．それと共に，各ケースでの移動時間，在宅自由活動時間，宅外自由活動時間のそれぞれの平均を求めた．以上の計算結果を表 7-6 に示した．また，PCATS-RUM との比較のために，表 5-16 として示した PCATS を用いて同様の条件で数値計算を行った結果を，表 7-7 として再掲する．

表 7-6 より，終業時刻が 1 時間遅くなるケース 1 に着目すると，直帰の再現頻度が多くなり，移動時間平均が減少することが分かる．この傾向は，表 7-7 に示したように PCATS を用いた数値計算でも得られている傾向である．このように同様の傾向が得られたのは，PCATS も PCATS-RUM も，自由時間帯の長さによって規定される時空間プリズムの大きさが，個人の生活行動の意思決定に与える影響を明示的に考慮していることが原因である．ただし，直帰頻度の増加率，および，移動時間の減少率は大きく異なっており，PCATS-RUM ではそれぞれ 33% 増，15% 減程度であるが，PCATS ではその 2 倍前後の 59% 増，36% 減である．さらに，PCATS では在宅時間が増加しているが，PCATS-RUM では逆に減少している．これらの相違が生じた

のは、PCATSの方がPCATS-RUMよりも、プリズムの大きさの変化に対してより敏感に反応したためである。すなわち、PCATSでは、平均在宅自由時間が、総自由時間が減少しているにも関わらず増加してしまう程に、直帰頻度が大きく増加したものと考えられる。そして、その結果として移動時間の平均も大きく低下したのである。

表 7-5 仮想個人の属性と固定活動スケジュール*

個人属性・世帯属性 54才,男性,会社員,世帯収入1500万円, 免許保有歴30年,世帯自動車保有台数1台
固定活動スケジュール 職場での仕事終了時刻:17時 自宅での終身時刻:22時 (ただし,居住地域:貝塚市,職場地域:大阪市北区) 通勤交通機関は,自動車に固定

(*:表 5-15 の再掲)

表 7-6 PCATS-RUM による仮想個人の生活行動の再現結果

	直帰	寄り道	外出	その他	移動時間平均	在宅自由時間平均	宅外自由時間平均
基本ケース	21回	49回	30回	0回	89.9分	133.2分	76.9分
ケース1	28回	55回	17回	0回	75.9分	107.2分	56.9分
ケース2	18回	48回	32回	2回	72.5分	132.5分	95.0分
ケース3	17回	66回	15回	2回	78.2分	126.6分	95.2分

表 7-7 PCATS による仮想個人の生活行動の再現結果**

	直帰	寄り道	外出	その他	移動時間平均	在宅自由時間平均	宅外自由時間平均
基本ケース	39回	53回	1回	7回	132.8分	101.6分	65.5分
ケース1	62回	26回	6回	6回	85.6分	125.2分	29.3分
ケース2	36回	38回	3回	23回	49.9分	171.6分	78.5分
ケース3	32回	45回	2回	21回	84.4分	151.0分	64.6分

(**:表 5-16 の再掲)

ここで、PCATS-RUM において、上述の様な変化が計算された理由についてさらに詳しく述べる。PCATS-RUM では、固定活動時間帯の変化が個人に及ぼす影響を、図 7-3 に示したように生活パターンの選択肢集合の変化と、各選択肢の生活効用の変化という形で再現している。ケース 1 のように終業時刻が遅くなり自由活動時間帯が減少した場合には、時空間プリズムが

小さくなり、到達可能な目的地数が減少し、選択肢集合内に内に勤務地あるいは自宅の近辺の地域を自由活動の実行場所として持つ生活パターンが増加する。この結果、移動時間平均が減少することとなる。また、生活パターンの選択肢集合自体が小さくなるので、相対的に直帰が選択される確率が増加し、その再現頻度も増加する。一方、自由時間帯が短くなった場合、選択肢集合内の各生活パターンに含まれる各々の活動に配分可能な活動時間も短くなる。したがって、十分な時間を宅外自由活動に配分することが困難となり、宅外自由活動を実行するために個人が支払う移動の負効用を埋め合わせるだけの効用を、宅外自由活動を消費することで得ることが困難となる、という状況になる。このことも、直帰の再現頻度の増加を導くこととなる。なお、図 7-3 には、交通機関数の増減という影響も記載しているが、今回の数値計算では自動車通勤者を想定しているので、PCATS-RUM 内で採用している交通機関制約により帰宅するまでは自動車以外の交通機関は利用できず、したがって、帰宅するまでは各目的地に到達可能な交通機関数は変化しない。

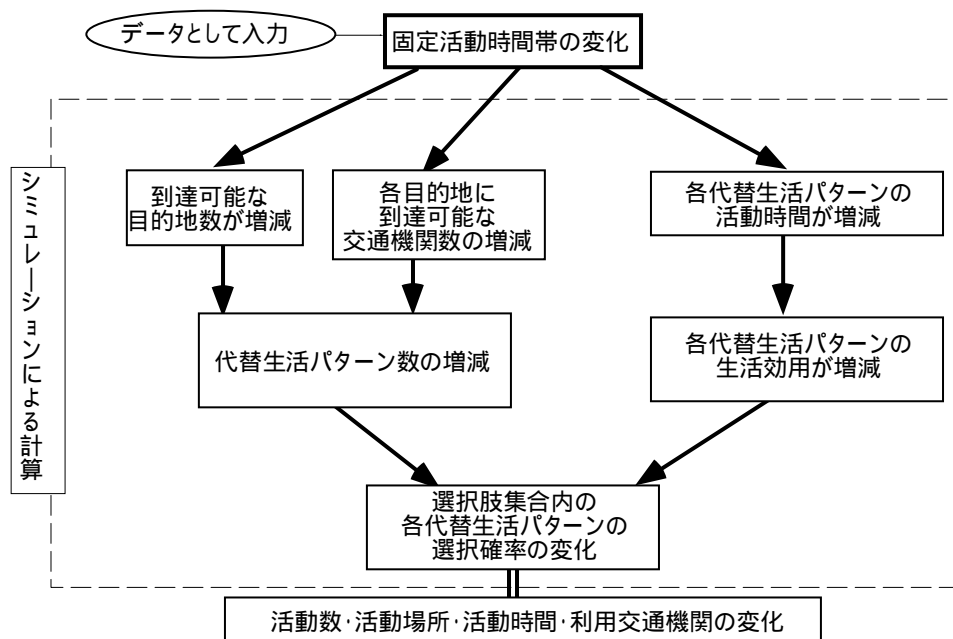


図 7-3 PCATS-RUM における固定活動時間の変化が個人の生活パターンに及ぼす影響

次に、通勤時間が 30 分短縮されるケース 2 に着目すると、PCATS-RUM では、その他の再現頻度が 0 から 2 へと増加し、直帰の再現頻度が若干低下していることが分かる。また、在宅自由時間の平均はほとんど変化していないものの、移動時間が約 17 分減少、宅外自由時間が約 18 分増加する、という結果となった。これらの結果は、在宅自由時間がほとんど変化しなかったという点を除いて、いずれも PCATS の数値計算例でも示されているものである。ただし、ケース 1 でみられた傾向と同様に PCATS の方が、その増減の幅は大きい。特に移動時間については、PCATS-RUM では 17 分減少しただけであった一方で、PCATS では 83 分という極めて大きな減少量となっている。ここで、ケース 2 では通勤時間が 30 分減少していることを考えると、

PCATS-RUM では平均的に通勤以外に費やす移動時間が 13 分（30 分-17 分）増加するという結果を示している一方で、PCATS では 53 分通勤以外に費やす移動時間が減少するという結果を示している、と解釈することができる。この相違は在宅自由時間の変化の相違にも現れており、PCATS-RUM ではほとんど変化していないが、PCATS では約 70 分も在宅時間が増加している。以上の結果は、PCATS では通勤時間の短縮によって交通需要が抑圧されるという結果を示しており、PCATS-RUM では通勤時間の短縮によって交通需要が誘発される、という逆の結果を示している、と解釈できる。ここで、第四章で述べた就業者を対象とした構造方程式モデルの推定結果では、通勤時間は通勤時間以外の移動時間に対して負の影響をもっていることが表 4-3 に示されている。また、表 4-5 に示した同モデルの感度分析の結果からも、通勤時間を短縮した場合には通勤以外の移動の時間が増加することが示されている。構造方程式モデルは直接的に変数間の共分散関係をモデル化するものであることを考えると、誘発需要の存在を示唆している PCATS-RUM の計算結果の方が妥当な結果であるものと推測される。

ここで、図 7-4 に、PCATS-RUM が考慮している、機関別の移動時間の減少が個人の生活行動に及ぼす影響の因果連鎖を示す。基本的には、固定時間帯の変化を再現した方法と同様に、生活パターンの選択肢集合の変化とそれぞれの選択肢の生活効用の変化という形で移動時間の減少が個人に及ぼす影響をモデル化している。まず、移動時間の減少によって時空間プリズムが大きくなり、結果として生活パターン選択肢が増加する。その結果、表 7-6 に示した様に、直帰の選択確率が減少し、新たな交通需要が誘発されるという結果が得られたのである。一方で、移動時間の増加は、各生活パターンの選択肢の活動時間の増大を招き、その結果、宅外自由活動の実行に伴う効用が増加することとなる。この点も、新たな交通需要が誘発されるという結果が得られた原因である。それに加えて、宅外自由活動の時間が増加するという数値計算結果が得られたのも、これが原因である。

ここで、ケース 1、ケース 2 の計算結果に共通して伺えるのは、PCATS-RUM よりも PCATS の方が基本ケースからの変化が大きいという傾向である。ケース 1、ケース 2 の双方とも、時空間プリズムの大きさに影響を及ぼす政策であることを考えると、PCATS の方がプリズムの変化に対する感度が強い、という傾向が存在するものと考えられる。

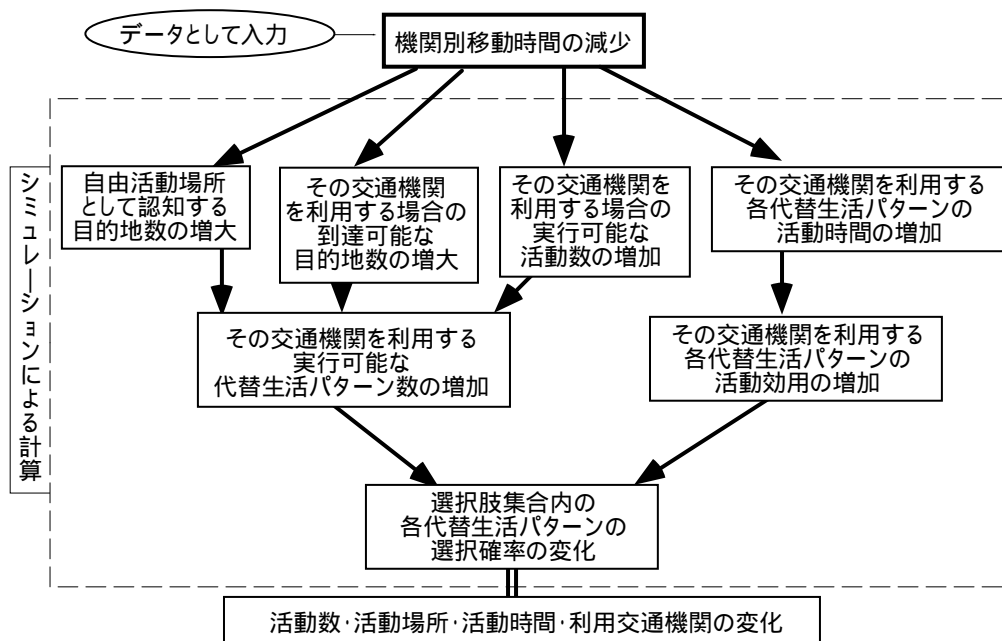


図 7-4 PCATS-RUM における機関別移動時間の減少が個人の生活パターンに及ぼす影響

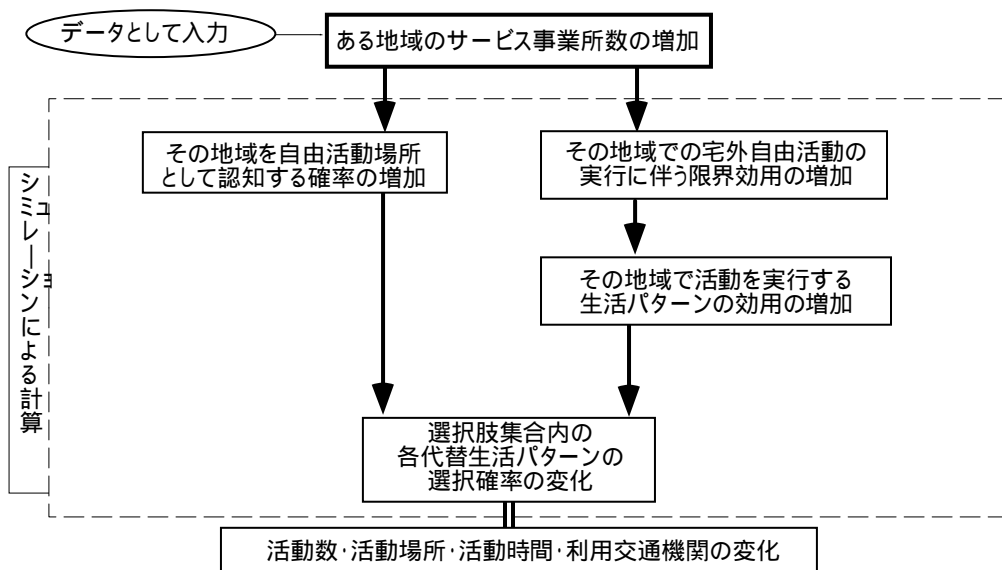


図 7-5 PCATS-RUM におけるサービス事業所数の増加が個人の生活パターンに及ぼす影響

最後に、サービス事業所数が全ての地域において 2 倍になるケース 3) に着目する。表 7-6 より、寄り道頻度、その他頻度、ならびに、宅外自由活動時間平均が増加する一方で、移動時間平均が減少するという結果が示されている。PCATS においても同様にその他頻度が増加し、移動時間平均が減少する、という傾向が伺えるが、直帰頻度が増加している点、在宅自由時間平均が増加し、宅外自由時間がさほど変化していない点、など異なった傾向が示されている。このように異なった傾向が計算されたのは、PCATS ではサービス事業所数を目的地認知モデル

の外生変数としてのみ導入している一方で、PCATS-RUM では、目的地認知モデルの外生変数としてだけでなく、宅外自由活動を実行する際の限界効用の関数にも導入しているためである。

図 7-5 に、PCATS-RUM におけるサービス事業所数の変化が個人に及ぼす影響の因果連鎖を示す。まず、ある地域のサービス事業所数が増加することで、その地域が目的地として認知される確率が増加する（ケース 3）の様に全てのサービス事業所数が増加した場合を想定すると、生活パターンの選択肢集合は大きく増加することとなる。一方で、宅外自由活動の実行に伴う限界効用関数にサービス事業所数を導入していることから、選択肢集合内の各々の宅外自由活動の総効用が増加する。以上より、宅外自由活動を実行する確率が増加することとなるのである。PCATS では前者の選択肢集合の増減については考慮しているが、後者の点は考慮しておらず、したがって、宅外自由活動の平均時間がさほど変化しない、という結果が得られたものと考えられる。

7.4.2 PCATS-RUM と PCATS との比較

以上の様に、PCATS と PCATS-RUM では、共通した傾向を数値計算結果として示すことがあ一方で、場合によっては異なった計算結果を出力していることが分かった。

まず、両モデルの大きな相違点として、基本ケースにおいて出力される生活パターンの相違が挙げられる。活動時間に着目した場合、移動時間と在宅自由時間が大きく異なっていることが分かる。PCATS では移動時間平均が 133.8 分であったにも関わらず、PCATS-RUM では 98.9 分にしか過ぎず、両者の差は約 35 分にもなっている。また、在宅自由時間平均についても PCATS では 101.6 分にしか過ぎない一方で、PCATS-RUM では 133.2 分と約 30 分の差異が存在する。すなわち、基本ケースにおいて、PCATS は PCATS-RUM に比べて移動時間を過大に、そして、在宅時間を過小に評価する傾向となっている。ここで、5.4 の表 5-14 で示した PCATS の実データを用いた検証結果からは、PCATS は実データよりも移動時間を過大に、そして、在宅時間を過小に評価するものの、活動時間についての重相関係数が 0.5 ~ 0.7 程度であったことを考えあわせると、PCATS-RUM においても活動時間についてある程度の適合度が得られる可能性が十分に存在することが推測される。

また、PCATS-RUM は、PCATS よりも直帰の再現頻度が低く、約 2 倍の差が存在している。このことは、PCATS-RUM において生活パターンを生成する際に、各生活パターンの誤差項が互いに独立であると仮定していることが原因であると考えられる。一般に、誤差項間に相関が存在しているにも関わらず、それらを独立であると仮定した上で選択確率を定式化した場合、実際には誤差相関が存在する選択肢の選択確率が過大に、それ以外の選択肢は過小に評価される傾向にあることが知られている¹⁵⁾。このことを考えると、直帰の再現頻度が小さかったのは、直帰以外の何らかの宅外自由活動を実行する生活パターンの誤差項間には相関が存在する一方で、直帰の誤差項とは独立であったことから、直帰の再現頻度が過小に評価されたものと推測される。なお、この点について厳密に検討を加えるためには、誤差相関を考慮した推定計算を行い、誤差相関の存在を統計的に検証することが不可欠であろう。

次に、両モデルが示した各政策が個人の生活パターンに及ぼす影響をについて比較検討を加える。当然ながら、ここで対象としている数値計算の実測値は観測されておらず、したがって、いずれのモデルが適切な政策評価を行っているか、という点について直接的に議論することは不可能である。しかし、その他の研究で得られている知見を用いた間接的な議論等を行うことはできるものと考えられる。

次に、両モデルの大きな相違点の一つとして、プリズムの変化に対する感度の相違が挙げられる。終業時間が1時間遅くなるケース1では、いずれのシミュレータも直帰頻度が増加するという結果を示しているが、PCATSのその増加率はPCATS-RUMのその約2倍となった。その結果、PCATS-RUMでは移動時間平均が約14分減少するという結果となったが、PCATSでは約47分も減少するという結果が得られた。また、通勤時間が30分短縮されるケース2では、いずれも移動時間が減少するもののPCATS-RUMでは約17分の減少である一方で、PCATSでは約83分も減少するという結果となっている。ここで、第四章での構造方程式モデルを用いた感度分析では、勤務時間を1時間を遅い時刻にずらした場合、通勤時間を短縮した場合のいずれにおいても最も大きな影響を受けるのは在宅時間であり、移動時間の変化はさほど大きなものではないという結果が示されているが、この知見を考えあわせると、30分の通勤時間の短縮で約1時間20分もの移動時間が平均的に減少する、あるいは、1時間終業時刻が遅くなるだけで47分もの移動時間が減少する、という感度は大きすぎるのではなかろうか、と推測される。当然ながら、構造方程モデルを用いて示されている感度は、構造方程式モデルを構築したサンプル全体の平均的な感度であり、かつ、外生変数の変化に対する個人の対応行動を観測した上で感度を算定している訳ではないため、構造方程式モデルの結果に近い結果を出力しているモデルの方が適切であるとは直接的には言えない。したがって、この点についての確に判断するためには、適切なデータを収集して比較分析を行う必要があるものと考えられる。

もう一つの両シミュレータの相違点として挙げられるのが、結果の論理的な解釈の方法についてである。PCATSについては、既に第五章、5.5でその計算結果が得られた理由について述べているため、ここではPCATS-RUMを用いて得られた計算結果についてのみ、その計算結果が得られた理由について図7-3、図7-4、図7-5を用いて説明した。PCATSでは、ケース2において、交通需要が誘発されるのではなく、抑圧されるという傾向が計算された点、あるいは、ケース3において直帰頻度、ならびに、在宅自由時間平均が増加している点等、解釈が困難な計算結果が何点かみられた。これは、PCATSでは複数の行動モデルを組み合わせるという形で生活行動を再現しているためであると考えられる。すなわち、各サブモデルが図5-3に示した様な形で組み合わせられ、それらが繰り返し適用されるため、先述のように外生変数の変化に対して極めて高い感度で反応し、その結果として、解釈困難な計算結果が得られているのではないかと推測される。しかし、一方で、PCATS-RUMでは、いずれのケースにおいても、その数値計算が得られている理由を論理的に解釈することができた。唯一の効用関数を用い、かつ、制約条件下でその効用を最大化するように個人は生活行動を実行している、という簡素な意思決定原理を仮定したPCATS-RUMでは、その結果の理論的な解釈も容易であったものと考えら

れる．このような数値計算結果の理論的な解釈可能性は，需要予測の精度と共に，政策評価ツールとしての重要な一つの資質であるものと考えられる．なぜなら，ある政策がどのような因果連鎖をたどって結果的に観測可能な交通需要等に影響を及ぼすのか，ということ把握することは，より効果的な政策を検討するための，基礎的，かつ，有効な知見を与えるものと期待されるからである．

最後の PCATS と PCATS-RUM との大きな相違点は，計算時間である．PCATS はワークステーション Sun Spark 5 上でそれぞれのケースで一人の個人の生活パターンを 100 回を計算するのに，約 3 分であった．その一方で，PCATS-RUM で必要とされる計算時間は，同一の計算環境で約 5 時間にもなった．すなわち，PCATS-RUM は PCATS の約 100 倍もの計算時間を必要とするのである．このことは，現時点では PCATS-RUM を集計化を念頭においた需要予測ツールとして適用することが極めて困難であることを意味している．例えば，1 万人程度の個人の行動軌跡を再現するために必要とされる計算時間は 500 時間（約 20 日）である．これだけの日数が必要である場合，政策前後の 2 つのケースを PCATS-RUM で計算するためには，一月以上の時間が必要とされるのである．

7.5 結語

本章では，効用理論を適用した生活行動を再現するシミュレーションモデル PCATS-RUM について述べた．本シミュレータの入力データおよび出力データ，ならびに，生活行動における制約条件の捉え方は PCATS とほぼ同様のものであるが，シミュレータ内部の構造が大きく異なっている．PCATS では複数の行動モデルを先験的な意思決定過程の仮定に基づいて逐次的に組み合わせる，という方法を用いて生活パターンを生成するものであるが，PCATS-RUM は効用最大化原理に基づいた生活効用モデルを用いて生活パターンの生成を図る．生活効用モデルは，唯一の効用関数を用いて活動内容，場所，時間，開時刻，活動数，および，交通機関といった様々な要素で規定される生活パターンの選択行動を再現するものである．したがって，従来では個別に構築し，そして需要予測時に PCATS のように統合するという方法が用いられることが一般的であったこれらの交通行動の種々の局面を，生活行動という枠組みで捉えることで，それらの間のトレードオフを考慮した上で統一的にモデル化することができるのである．

生活効用モデル内の未知パラメータについては，離散-連続モデルの枠組みに基づいて，はじめに資源配分モデルの考え方をを用いて，ついで離散選択モデルの考え方をを用いて，ダイアリーデータに基づいて段階的な推定計算を行った．その結果，徒歩の移動抵抗が他の交通機関の移動抵抗に比較して小さいこと，サービス事業所数の多い地域での宅外自由活動は限界効用が高いことなどの知見が得られた．また，極めて膨大な数にのぼる生活パターンの選択肢集合から最大の効用を与える生活パターンを効率的に検出する方法論としては動的計画法を用いた．ただし，動的計画法を用いて効率的に最適生活パターンの検出を行うために，活動開始時刻につ

いては 10 分の離散変数として取り扱った。

こうして構築したシミュレータ PCATS-RUM を用いて、第五章で PCATS についての数値計算を行った際に仮定したものと同様の仮想的な個人，ケースを想定して数値計算を行った。その結果，PCATS は，プリズムの変化に対する感度が極めて大きいことが分かった。また，PCATS-RUM は PCATS とは異なり，計算結果を論理的に解釈できること，すなわち，評価対象となる政策がどのような因果連鎖をたどって個人に影響を及ぼしているのかを把握できることが分かった。ただし，その一方で，現時点では，動的計画法を用いることで計算コストの効率化を図ってはいるものの，それでも膨大な計算時間が必要であることも明らかとなった。

また，PCATS-RUM の政策評価ツール，交通需要予測ツールとしての有効性を検討するためには，第五章，5.4 で PCATS に対して行ったような実データを用いたシミュレーションモデルの再現性の検証を行うことが不可欠である。しかし，PCATS-RUM では先述のように計算時間が極めて大きなものである。そのため，5.4 で行ったように，シミュレーションモデルにおけるランダム性を除去するために個々のサンプルについて 100 回ずつシミュレーションを行い，その上で実データとの適合度を検証するためには膨大な時間が必要となる。本章で示したように，100 回シミュレーションを行うのに 5 時間が必要であるとすると，5.4 で取り扱った 437 サンプルについて 100 回ずつ計算するために必要な時間は，約 91 日（= 2,184 時間 = 5 時間 × 437 サンプル）にもなってしまう。したがって，本シミュレーションの検証を行うためにも，実際の政策評価，需要予測を行うためにも，計算の効率化を図ることが不可欠である。

また，生活効用関数内の未知パラメータを推定する際，全ての誤差項が独立であると仮定した。そして，シミュレーションにおいても，推定時と同様に全ての誤差項が独立であると仮定して個人の生活パターンを生成している。しかし，PCATS-RUM では，個々の活動の限界効用について一つずつ誤差項 $\varepsilon_{i(s)}^n$ あるいは $\varepsilon_{j(s)}^n$ を，そして，全体の生活パターンを通じて一つの誤差項 ξ_s^n を導入しているが，これらの誤差項が全て独立であるとは考えがたい。活動内容や，場所，時刻を共有する複数の活動の限界効用の誤差項間には恐らくは正の共分散が存在するであろうし，トリップパターンが類似している生活パターン間でも誤差項 ξ_s^n の間に正の相関が存在することが推測される。これら以外にも，さまざまな誤差項間の共分散関係が存在することは想像に難くない。特に，式（7-17a），式（7-17b）における誤差項 $\pi_{j(s^*)}^n$ ， $\pi_{i(s^*)}^n$ を互いに独立であると仮定してパラメータ推定を行ったが，これらの誤差項の間には明らかに正の共分散が存在する。今後，本シミュレータの実用化を目指す場合には，これらの間の共分散を推定し，それをシミュレータに反映させることが，計算効率化を図ることと同様に，不可欠であるものと考えられる。

注

- [1] 観測生活パターンは、実行可能な生活パターンの中で最大の生活効用を与える。したがって、実行可能な生活パターンの全集を W と定義すると、集合 W における観測生活パターンを含む任意の部分集合 W' の中で、観測生活パターンは最大の効用を与える。なお、当然ながら、集合 W は、

プリズム制約	条件
交通機関制約	条件
目的地認知制約	条件

の 3 つを満たす生活パターン集合である。ここで、観測生活パターンを含む部分集合 W' として、「 $d = d^*$, $z = z^*$ 」なる 2 つの条件を満たす、という条件を満たす全ての生活パターンで構成されるものを考える。すなわち、集合 W' は、上記の条件、
、
に加えて、

$d = d^*$	条件
$z = z^*$	条件

の 5 つの条件を満たす生活パターン集合である。なお、ベクトル d^* , z^* はそれぞれ観測生活パターンの活動内容順列ベクトル、活動場所順列ベクトルであるため、条件、
、条件
の 2 つの条件より、集合 W' には必ず観測生活パターンが含まれることとなる。

以上より、観測生活パターン S^* は、上記の 5 つの制約を満たす集合 W' の中で最大の生活効用を与える生活パターンである。このことは、本文中に主張しているように、以下の最適化問題の解として与えられる生活パターンが観測生活パターン S^* に等しいことを意味する。

$$U^n(S) \quad \max$$

S.T.	$d = d^*$
	$z = z^*$
	プリズム制約
	交通機関制約
	目的地認知制約

- [2] この命題は、以下の、
、
、
より導くことができる。

活動場所順列ベクトル z を規定するということは、個々のトリップの交通機関、ならびに、その OD を規定することに等しい。なぜなら、活動場所のカテゴリーとしては、活動場所として定義したゾーンに加えて、移動時の交通機関を表す自動車、公共交通機関、自転車、徒歩を考慮しているからである。

PCATS-RUM では、トリップの所要時間は、そのトリップの出発地、目的地、ならびに交通機関の 3 要素によって一義的に規定されるものと仮定している。

制約条件の一つである (7-11c) のプリズム制約は、自由活動時間帯の長さが固定さ

れていることを主張する制約である．

自由時間帯において，各活動に配分可能な可能な時間資源量は，自由活動時間帯の長さから，その自由時間帯で実行する各移動の移動時間の総和を差し引いたものに等しい．

なお，以下にはこの証明を詳細に述べる．

まず， $(7-10)$ より，以下の $(7-11)$ が導かれる．

’ PCATS-RUM において，活動場所順列ベクトル z を規定するということは，移動時間の総和を規定することに等しい．

また， $(7-11)$ より，以下の命題，すなわち，本文で示している命題が導かれる．

命題： 活動場所順列ベクトルを固定する，という制約条件は，各活動に配分可能な時間資源も固定するということを意味する．

[3] この命題は，以下の $(7-11)$ より導くことができる．

行列 S は，ベクトル d, z, t の 3 つを行ベクトルとして持つ行列であり，したがって，活動内容順列ベクトル d と活動場所順列 z を固定している式 (7-10) の最適化問題における決定変数は，活動時刻要素であるベクトル t である．

ある活動の活動時間は，その活動の開始時刻と終了時刻とから一義的に定まる．したがって，ベクトル t を決定することは，個々の活動の活動時間を決定することに等しい．

PCATS-RUM では，活動内容として，在宅，宅外自由活動，移動の 3 つを考慮している．そのうち，先の注[2]で示したように，式 (7-10) の最適化問題では，移動時間は固定されており，活動時間が固定されていない活動は，在宅活動と宅外自由活動の 2 つである．

なお，以下にはこの証明を詳細に述べる．

まず， $(7-11)$ より，以下の $(7-12)$ が導かれる．

’ 式 (7-10) の最適化問題における決定変数は，個々の活動の活動時間である．

この $(7-12)$ と $(7-11)$ より，以下の命題，すなわち，本文に示した命題を導くことができる．

命題： 式 (7-10) の最適化問題における決定変数は，個々の在宅活動と宅外自由活動の活動時間である．

[4] ある行列 S を持つ生活パターンにおける宅外自由活動の順番 i ，および，在宅活動の順番 j は，その行列 S の行ベクトルである活動内容順列ベクトル d のみに依存する．したがって，行列 S^* も行列 $(S^*|d^*, z^*)$ も，いずれも活動内容順列ベクトルが d^* であるため，式 (7-14a)，式 (7-14a) が成立することとなる．

[5] 誤差項, $\pi_{j(s^*)}^n$, $\pi_{i(s^*)}^n$ は, 共通の誤差項 $\varepsilon_{1(s^*)}^n$ が含まれているため独立とはならない. しか

し, 本章では, 共通の誤差項 $\varepsilon_{1(s^*)}^n$ が含まれることによる $\pi_{j(s^*)}^n$, $\pi_{i(s^*)}^n$ の共分散の存在を考慮した推定計算が, 計算コストの関係上困難であることから, これらを独立と見なして, 簡便に推定計算を行った.

[6] 一個人から算定される時間比数は, その個人の自由時間帯数を M , その個人の自由時間帯 m における宅外自由活動数を $I(m)$, その個人の自由時間帯 m における在宅活動数を $J(m)$, とすると, 以下の式で表される.

$$\sum_m^M (I(m) + J(m) - 1)$$

[7] PCATS は, 想定時間モデル, 活動内容選択モデル, 交通機関・目的地選択モデルの 3 つのサブモデルを組み合わせることによって個人の生活パターンを生成している. 想定時間モデルに基づいて活動時間を決定する場合, プリズム制約を考慮して最大実行可能時間を求め, その値で想定時間分布を打ち切ることで想定時間分布を補正し, その補正した分布を用いて活動時間を決定している. また, 活動内容選択モデル, 交通機関・目的地選択モデルで活動場所, 活動内容, 交通機関を決定する場合にも, プリズム制約を考慮して選択肢集合を特定している. これらより, 活動場所, 内容, 時間, そして, 交通機関という, PCATS において考慮している全ての決定変数を, シミュレーション内で決定する際にプリズム制約を考慮しているのである. また, シミュレーション内で交通機関・目的地選択モデルを用いて活動場所, 交通機関を決定する際には, PCATS-RUM と同様の交通機関制約を考慮した上で交通機関の選択肢を特定化している. 同様に目的地の選択肢集合についても, PCATS-RUM と同じ目的地認知制約を考慮した上でを特定化している. なお, PCATS で目的地認知制約を考慮する方法論としては, PCATS-RUM で用いたプロビットモデルと全く同一のものをを用いて, モンテカルロシミュレーションにより認知目的地と非認知目的地を識別している. 以上より, PCATS では, PCATS-RUM で自由活動を生成する際に考慮している 3 つの制約条件, すなわち, プリズム制約, 交通機関制約, 目的地認知制約という 3 つの制約条件と全く同一の制約条件の下で, 個人が実行可能な生活パターンを生成しているのである.

[8] 式 (7-4) に示したように, 生活効用関数を活動サービスの消費に伴う効用と, 活動サービスの消費に伴わない効用の和という形で定式化している. そして, 活動サービスの消費に伴う効用を式 (7-5) に示した様に, 個々の活動で得られる効用の総和という形で定式化している. 一方, 活動サービスの消費に伴わない効用としては, 式 (7-8) に示したように確

定項と誤差項の線形和という形で定式化しているが、確定項については7.3.2(3)の表7-1に示した様な移動費用や移動の種類別のトリップ頻度（あるいはダミー変数）を説明変数として定式化している。したがって、活動サービスの消費に伴わない効用として、個々のトリップから生じる効用を算定することができる。以上より、7.3.1(3)で定義した生活効用関数が個々の活動と個々の移動のそれぞれで得られる効用の総和という形で定義されていると解釈できるのである。

- [9] 目的地認知制約, プリズム制約, 交通機関制約の3つの制約条件を考慮する方法としては、以下の方法を用いた。

$mo(k-1)$ が自動車（あるいは自転車）であり、かつ、 $co(k-1)$ が宅外自由活動の場合、 $mo(k)$ が自動車（あるいは自転車）以外のものである $act(k)$ を削除する（「自動車（あるいは自転車）を利用するには、現在場所に利用可能な自動車（あるいは自転車）が存在することが必須条件である」という交通機関制約の考慮）。

$mo(k-1)$ が自動車（あるいは自転車）ではなく、かつ、 $co(k-1)$ が宅外自由活動の場合、 $mo(k)$ が自動車（あるいは自転車）である $act(k)$ を削除する（「自動車（あるいは自転車）を駐車不可能な場所には自動車（あるいは自転車）を放置したまま次のトリップを実行できない」という交通機関制約の考慮）。

$st(k)$ が外生データとして設定した公共交通機関の影響時間帯以外の場合には、 $mo(k)$ が公共交通機関のものは削除する（公共交通機関の営業時間についての交通機関制約の考慮）。

以下の2つの時刻に挟まれない $st(k)$ を $act(k)$ を削除する（プリズム制約の考慮）。

$$\bullet st(k-1) + ODT(pl(k-1), pl(k), mo(k)) \quad (G-1)$$

$$\bullet st(K+1) - ODT(pl(k), pl(K+1), mo^*(k)) \quad (G-2)$$

ここに、 $ODT(a, b, c)$ とは、場所 a から場所 b へ交通機関 c を利用した移動した場合の所要時間である。また、 $mo^*(k)$ とは、 $pl(k)$ と $pl(K+1)$ の間を移動する際に利用可能な交通機関の中で、最短の移動時間を持つ交通機関である。なお、利用可能な交通機関の定義については、上記の、と同様のものである。

(G-1)で算定される時刻と、(G-2)で算定される時刻とを比較した場合、後者の方が小さな値となるような $pl(k)$ と $mo(k)$ の組み合わせを含む $act(k)$ を削除する（プリズム制約の考慮）。

式(7-3)を用いたモンテカルロシミュレーション実行した結果、非認知となった場所となった $pl(k)$ を含む $act(k)$ を削除する（目的地認知制約の考慮）。

第七章 参考文献

- 1) Fujii, S., Kitamura, R. and Monma; A Micro-Simulation Model System That Produces Individual's Activity-Travel Patterns Based on Random Utility Theory, in a journal of special issue of time use research, (forthcoming).
- 2) Fujii, S., Kitamura, R. and Monma, T.: A Utility-Based Micro-Simulation Model System of Individual's Activity-Travel Patterns, prepared for Transportation Research Board 77th Annual Meeting, Washington, D.C, USA, 1998, (forthcoming).
- 3) Fujii, S., Kitamura, R. and Monma, T.; A Micro-Simulation Model System That Produces Individual's Activity-Travel Patterns Based on Random Utility Theory, prepared for Institute for Operations Research and the Management Sciences, San Diego, USA, 1997.
- 4) Kitamura, R.: A Model of Daily Time Allocation to Discretionary Out-of-home Activities and Trips, *Transportation Research*, **18B**, pp. 255-266, 1984.
- 5) Supernak, J.: Temporal Utility Property of Activities and Travel, Uncertainty and Decision Making, *Transportation Research*, **26B**, pp. 61-76, 1992.
- 6) Kraan, M.: Modelling Activity Patterns with Respect to Limited Time and Money Budgets, In D. Hensher, J. King and T. Oum (eds.), *World Transport Research, Proceedings of the 7th World Conference on Transportation Research, Vol. 1, Travel Behavior*, Elsevier Science, Oxford, pp. 151-164, 1996.
- 7) Kitamura, R., T. Yamamoto, S. Fujii and S. Sampath, A discrete-continuous analysis of time allocation to two types of discretionary activities which accounts for unobserved heterogeneity, In J.B. Lesort (ed.) *Transportation and Traffic Theory*, Elsevier Science, Oxford, pp. 431-453, 1996.
- 8) Jara-Diaz, S.R.: General Micro-Model of User's Behavior: The Basic Issues. Paper presented at the Seventh International Conference on Travel Behavior, Valle Nevado, Santiago, Chile, 1994.
- 9) Adler T. and Ben-Akiva, M.: A Theoretical and Empirical Model of Trip Chaining Behavior, *Transportation Research*, **13B**, pp. 243-257, 1979.
- 10) 河上省吾, 磯部友彦, 仙石忠広: 時間制約を考慮した1日の交通・活動スケジュール決定プロセスのモデル化, 土木計画学研究・論文集, No. 4, pp. 189-196, 1986.
- 11) Ben-Akiva, M. and J. Bowman: An Activity Based Disaggregate Travel Demand Model System with Daily Activity Schedules, *Transportation Research*.(forthcoming)
- 12) Bellman, R.: *Dynamic Programming*, Princeton University Press, Princeton, 1957.
- 13) Hagerstrand, T.: What about People in Regional Science? *Papers of the Regional Science Association*, **23**, pp. 7-21, 1970.
- 14) Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R.; *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, pp. 56-57, 1985.
- 15) 土木学会編: 非集計行動モデルの理論と実際, pp. 22-26, 1995.

第八章 効用理論に基づいた生活の質を考慮した政策評価・地域評価指標についての基礎的考察¹⁾

8.1 序言

8.1.1 評価指標としての期待生活効用

本研究では、的確な交通需要予測を行うためには個人の生活行動を再現することが必要であるとの認識に基づいて、いくつかのアプローチに基づいて生活行動モデルを構築した。しかし、第一章でも述べたように、個人の生活行動を考慮した場合、的確な交通需要予測が可能となるだけではなく、個人の生活の質を視野に入れた政策評価、地域評価が可能となるものと期待される。

既に、第六章において述べたように、効用理論に基づいて個人の生活行動をモデル化した場合、その個人が一日を通じて得られる生活効用の期待値、すなわち、期待生活効用を定式化することができる。一般に、消費者にとってのある財やサービスの効用をその個人がその財・サービスを消費した際の満足の程度と解釈するならば、一日の生活パターンについて定式化される期待生活効用は、交通環境や社会環境、家族環境などのいくつかの条件の下で、その個人が1日の生活を通じて得られる平均的な満足の程度を表すものと捉えることができる。本研究では、この点に着目して、第六章では、SP データを用いて生活効用関数を求め、それに基づいて期待生活効用を定式化した。そして、仮想的な個人、仮想的なネットワークを仮定して、その仮想的な個人のいくつかの状況下での期待生活効用を計算し、期待生活効用で政策評価が可能であることを示した。

しかし、第六章、6.1.2(2)でも述べたように、政策評価指標としての期待生活効用を算定するためには、

期待生活効用算定時に選択肢集合の不確実性を考慮する方法論

を提案することが不可欠である。

8.1.2 期待生活効用算定にあたっての問題点

第六章、6.2.4 で既に定式化したように、生活効用モデルの考え方では、式(8-1)に示す確定効用と誤差項で構成される生活効用関数を仮定した場合の期待生活効用は式(8-2)のように定式化される。

$$U_i^n = V_i^n + \varepsilon_i^n \quad (8-1)$$

ここに、

U_i^n : 個人 n の生活パターン i の生活効用

V_i^n : 個人 n の生活パターン i の確定効用

ε_i^n : ガンベル分布に従う誤差項

$$EU^n = \ln \left\{ \sum_{i \in TC^n} \exp(V_i^n) \right\} \quad (8-2)$$

ここに,

EU^n : 個人 n の期待生活効用

TC^n : 個人 n の生活パターン選択肢集合

ここで, 生活パターン選択肢集合 TC^n , ならびに, その選択肢集合に含まれる各生活パターンの確定効用値が既知である場合, 式 (8-2) からその個人 n の期待生活効用 EU^n を算定することができる.

しかし, 分析者が個人の生活パターンの選択肢集合を確定的に把握することは極めて困難である. したがって, 個人の選択肢集合を不確実なものとして捉えることが必要なのである. 式 (8-2) は, 選択肢集合 TC^n が既知であるという前提で定式化されたものであるが, 選択肢集合の不確実性を考慮する場合, 期待生活効用は以下のように定式化されることとなる²⁾.

$$EU^n = \sum_{D_j^n | (D_j^n \subseteq C^n)} \left[P(TC^n = D_j^n) \ln \left\{ \sum_{i \in D_j^n} \exp(V_i^n) \right\} \right] \quad (8-3)$$

ここに,

C^n : 個人 n が実行することが不可能ではない生活パターン選択肢の全集合

D_j^n : 集合 C^n の部分集合 j

$P(TC^n = D_j^n)$: 個人 n の選択肢集合が集合 D_j^n に一致する確率

この式は, ある特定の選択肢集合を仮定した上で, その選択肢集合の場合の期待生活効用をログサム形式で定式化し, その上で, 仮定した選択肢集合の不確実性を考慮して, その期待生活効用の期待値を定式化したものである.

さて, この式 (8-3) に基づいて期待生活効用を算定するにあたって問題となるのが, 集合 C^n の大きさである. 第六章 6.1.2 にも述べたように, 個人の生活パターンの選択肢集合は極めて

膨大なものである．考慮する決定変数，ならびに，そのカテゴリー数が増加した場合，選択肢数は指数関数的に増大する．例えば第七章，7.3.3 で述べた例では，生活パターンの選択肢数は約 1.26×10^{28} という天文学的な数字となっている．第七章で構築した PCATS-RUM では，このような膨大な選択肢集合から効率的に最適生活パターンを検出する方法論として動的計画法を用いているが，それでも 1 個人の 5 時間の生活パターンを再現するだけでもワークステーション Spark 5 で約 3 分の時間を要している．式 (8-3) を算定するためには，全ての選択肢についての確定効用値を算定することが必要であり，動的計画法のような効率的な計算アルゴリズムが存在するわけでもない．それに加えて，集合 C^n の部分集合について定義される引数 j は選択肢数以上に膨大な数字になるものである．これらのことを考えあわせると，PCATS-RUM のように様々な種類の個人を対象とし，かつ，決定係数として活動場所，内容，交通機関，時間の全てを考慮したうえで式 (8-3) に示した計算を実行することは，現実的に不可能であるものと考えられる．

8.1.3 本章の目的

このような計算コスト上の問題点を回避した上で選択肢集合の不確実性を考慮した期待生活効用を算定するためには，期待生活効用を算定する目的を特化し，考慮する決定変数，ならびに，そのカテゴリー数を限定することで，集合 C^n を小さな集合にすることが不可欠であろう．

本章では，具体的に期待生活効用を算定する最初の試みとして，本論文第四章と同一の視点に立ち，都市人口の大きな割合を占める就業者の平日の勤務終了後の行動パターンに着目することとした．そして，期待生活効用の算定の目的を，就業者の勤務地，居住地による期待生活効用の差を把握することに限定した．こうした分析を通じて，現代都市において進行した郊外化によって就業者の生活の質はどのように変化したのか，を把握することを目指した．なお，第四章に示した就業者を対象とした分析でも示されているように，就業者の勤務終了後の生活パターンは限られたものであるため，集合 C^n をある程度限定した上で，期待生活効用を算定することができるのである．

さて，式 (8-3) を用いて期待生活効用を算定するために必要とされる情報は，集合 C^n とその中に含まれる各生活パターンの確定効用値，ならびに，全ての j についての確率 $P(TC_n = D_j^n)$ である．以下，本章では，8.2 で選択肢集合について，8.3 において生活効用関数についてそれぞれ述べる．そして，8.4 では勤務地，居住地がそれぞれ異なる仮想的な個人を複数想定し，各個人についての期待生活効用を式 (8-3) を用いて計算した結果について述べる．

なお，就業者の勤務地，居住地による期待生活効用の差を把握することを目的とした場合には，その生活効用関数を推定するにあたって，大阪湾岸パネルのような特定の地域から収集されたサンプルを用いることは問題であるものと考えられる．本章では，生活効用関数を推定するにあたって，大阪湾岸パネルよりも広範な地域から就業者のサンプルが収集されている京阪神パーソントリップ調査から得られたデータ（以下，PT データ）を用いることとした．また，生活効用関数内の未知パラメータの推定にあたっては，選択肢集合の不確実性に伴う推定バイ

アスを除去する方法を用いた。

8.2 就業者の生活パターン選択肢集合

8.2.1 就業者の生活行動の意思決定についての仮定

本章では，PCATS-RUM のサブモデル，生活効用モデルにおける仮定と同様に，就業者は以下の最適化問題の解として与えられる生活パターンを実行しているものとする。

$$\begin{aligned} U^n = f(\mathbf{S}) \quad & \max \\ \text{S.T.} \quad & \text{プリズム制約} \\ & \text{目的地認知制約} \end{aligned} \quad (8-4)$$

ここに，

\mathbf{S} : 勤務終了後から就寝までの就業者の生活パターンを規定する行列

ここで，この行列 \mathbf{S} を以下のように定義する。

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} d_1 & d_2 & \cdots & d_L \\ z_1 & z_2 & \cdots & z_L \\ t_1 & t_2 & \cdots & t_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{d} \\ \mathbf{z} \\ \mathbf{t} \end{pmatrix} \quad (8-5)$$

ここに，

d_l : 活動 l の内容

z_l : 活動 l の場所

t_l : 活動 l の開始時刻

\mathbf{d} : 活動 1 から活動 L までの活動内容順列を表すベクトル

\mathbf{z} : 活動 1 から活動 L までの活動場所順列を表すベクトル

\mathbf{t} : 活動 1 から活動 L までの活動開始時刻順列を表すベクトル

活動内容 d_l のカテゴリーとしては，

在宅

宅外自由活動

移動

の3者を考慮する．活動場所 z_i のカテゴリーとしては，

京阪神 174 市区町村

を考慮する．ただし，PCATS-RUM では，これに加えて自動車，公共交通機関といった交通機関も活動場所のカテゴリーとして考慮していたが，ここでは考慮せず，それらを一括して移動という形で取り扱う．これは，PCATS-RUM は就業者を含む一般的な個人を対象とした行動モデルであったが，本章では就業者をのみを分析対象としているためである．一般に就業者の通勤手段の選択は非短期的な意思決定であるものと考えられるが，式(8-4)の最適化行動は当日における短期的な意思決定についてのものであり，したがって，通勤手段選択を外生的に捉えることとしたのである．

このように，本章では，決定変数として交通機関を考慮しないという点，ならびに，それに伴って制約条件としても交通機関制約を考慮しないという点，の二点を除いて，第七章で述べたPCATS-RUMにおける生活効用モデルと全く同一の仮定を，生活行動について設ける．

8.2.2 選択肢集合 C' を特定化する方法について

前項に示したように，制約条件としてはプリズム制約と目的地認知制約を仮定している．前者の制約は，各ゾーン間の移動時間と固定活動のスケジュール（すなわち，本章の分析では，勤務地と勤務終了時刻，ならびに，居住地と就寝時刻）が与件として与えられれば，確定的に把握できるものと考えられる．一方で，後者の目的地認知制約は，PCATS や PCATS-RUM においても確率事象として目的地の認知を捉えたように，確定的に把握することが極めて困難である．

式(8-3)に定義したように，集合 C' は，個人 n が実行することが不可能ではない生活パターン選択肢の全集合である．この定義から，本章では，あらゆる生活パターンで構成される生活パターン集合 Ω の中からプリズム制約を満たす生活パターンを全て抽出し，その集合を C' とすることとした．

ここで，活動連鎖パターン（ベクトル d, z で特定化されるパターン）が与えられれば，第六章，6.2.4 で述べたように，最適時間配分の結果として，ベクトル t も一義的に決定されることになるため，集合 Ω はベクトル d, z のあらゆる組み合わせで定義される．

また，ベクトル d については，以下の3種類のみを考慮することとした．

（移動，在宅）

（移動，宅外自由活动，移動，在宅）

（移動，在宅，移動，宅外自由活动，移動，在宅）

以下，それぞれのベクトルを連鎖パターン 1, 2, 3 と呼ぶ．なお，この3つに限定したのは，

PT データを用いて集計分析を加えたところ、これらの 3 パターンのいずれかを実行している就業者が全就業者の大半（89.2%）を占めていたからである。

本章では以上のように集合 Ω を定義して、その中からプリズム制約を満たす生活パターンのみを抽出し、それらで集合 C^n を構成することとした。なお、就業者を対象とすることで、このようにベクトル \mathbf{d} の種類が限定されており、かつ、前項で述べたように通勤手段は固定的であると仮定しても、その仮定に基づいて大半の就業者の生活パターンの選択行動を説明できるため、その結果として、集合 C^n の大きさを限定することができるのである。そして、集合 C^n の大きさを限定することで、式（8-3）に基づいて、選択肢集合の不確実性を考慮した期待生活効用を現実的な計算時間で算定することができるのである。

8.2.3 選択肢集合の形成確率 $P(TC_n = D_j^n)$ の定式化

式(8-4)に仮定したように、本章ではプリズム制約に加えて目的地認知制約を考慮している。先述のように個人の目的地の認知を確率事象として捉え、既に第五章、第七章において既に定式化しているように、以下のような認知確率を定義する。

$$P_{rec}^n(k) = \Phi(\mathbf{B}\mathbf{W}_{nk} - \theta) \quad (8-6)$$

ここに、

- $P_{rec}^n(k)$: 個人 n が場所 k を自由活動場所として認識する確率
- \mathbf{B} : パラメータベクトル
- θ : しきい値
- \mathbf{W}_{nk} : 外生変数ベクトル
- $\Phi(\cdot)$: 標準正規分布関数

外生変数 \mathbf{W}_{nk} としては、現在場所から目的地 k を経由して次の固定活動場所に移動する際の所要時間と直接次の固定活動場所に移動する際の所要時間との差、および、地域 k のサービス事業所数を用いた。また、各未知パラメータ値としては、5.3.3 で述べたものをそのまま用いた。

ここで、この確率を用いると、ある生活パターン i が個人 n の選択肢集合 TC_n に含まれる確率 $P_{IN}^n(i)$ は、

$$P_{IN}^n(i) = \prod_{k|k \in SZ_{ni}} P_{rec}^n(k) \quad (8-7)$$

ここに、

SZ_{ni} : 個人 n の活動パターン i に含まれる自由活動場所集合

と定式化される．

さらに，個人 n についてある選択肢集合 D_j^n が形成される確率，すなわち，個人 n の集合 TC_n に D_j^n が一致する確率 $P(D_j^n = TC_n)$ は，式 (8-7) に定義したように $P_{IN}^n(i)$ を互いに独立であると考えているため，

$$P(D_j^n = TC_n) = \prod_{i \in D_j^n} P_{IN}^n(i) \prod_{i \notin D_j^n} \{1 - P_{IN}^n(i)\} \quad (8-8)$$

となる．

8.3 就業者の生活効用関数の特定化

PT データでは多量の就業者サンプルが得られているため，これらの全てを用いて推定計算を行うことは計算コストの関係から得策ではないと考えた．そして，推定計算の効率化を図るために，8.2.2 で述べた連鎖パターン 1, 2, 3 のそれぞれを実行している就業者サンプルから，各々同程度のサンプルをランダムに抽出し，これを推定サンプルとした．

推定計算を行うにあたっては，

観測生活パターンは，その生活パターンが実行された時と同一の制約条件の下で生成された生活パターンで構成される生活パターン集合に，その観測生活パターンを加えた集合の中で，最大の効用を与える．

という，観測生活パターンが満たす必要条件を用いて，ロジットモデルの考え方に基づいて生活効用関数内の未知パラメータを推定することとした．なお，推定計算を行うにあたっては，連鎖パターン別にランダムにサンプルを抽出したことによる推定値の歪みを軽減するために，PT データ内の連鎖パターン比率と，推定サンプル内の連鎖パターン比率とに基づいて，各サンプルの重みを算定した上で重み付き最尤推定法³⁾を用いることとした．

8.3.1 生活効用関数特定化のための選択肢集合の設定

本章では，推定計算のための選択肢集合を，以下のような手順で設定した^[1]．

- 1) 各サンプルの就寝時刻を定義する．就寝時刻は，大阪湾岸パネルにおける Wave 3 で収集されたダイアリーデータを用いて，就寝時刻を内生変数として構築した重回帰式に基づいて

生成する．

- 2) 各サンプルの仕事終了時刻と勤務場所，ならびに就寝時刻と自宅場所，および，各ゾーン間の所要時間に基づいて形成される時空間プリズムを考慮して，8.2.2 に述べた方法を用いて集合 C_n を特定する．
- 3) 連鎖パターン 2, 3 での宅外での自由活動の実行場所について，対象とする全ての地域の確率 $P_{rec}^n(k)$ を個々の個人について式 (8-6) に基づいて算定する．なお，対象地域としては京阪神地域の市区町村 174 地域とした．
- 4) 個人の生活パターン選択肢集合 TC_n には，必ず連鎖パターン 1, 2, 3 が含まれるものと考え，活動連鎖パターン 2, 3 のそれぞれについて $P_{rec}^n(k)$ が 0.0 でない k をランダムに一つずつ抽出する．
- 5) 各々の生活パターンについて，自由活動に費やせる時間（以下，余暇時間）を求める．
- 6) PT データで得られる活動時間分布に基づいて，余暇時間を在宅と自由活動に配分する．

以上の手順で，各個人の選択肢集合には必ず連鎖パターン 1, 2, 3 が含まれるとの仮定のもと，各個人について連鎖パターン 1, 2, 3 のそれぞれについて一つずつ選択肢を生成し，推定計算のための選択肢集合を特定した．ただし，個人が選択した連鎖パターンについては，データで得られたものをそのまま使用する．

8.3.2 選択肢集合の不確実性を考慮した推定計算

本章では，個人の生活パターンの選択肢集合には不確実性が存在するものと考えている．すなわち，8.3.1 で述べた手順で各個人について設定した選択肢集合が，必ずしもそれぞれの個人の実際の実際選択肢集合である保証はないものと考えている．

一般に，選択肢集合の不確実性が存在する際に，本章のように選択肢集合を分析者が生成した上でロジットモデルの枠組みで推定計算を行う場合に，各選択肢の確定効用に，その選択肢が選択されるという条件のもとで分析者が設定した選択肢集合が形成される条件付き確率の対数を補正項として加えることで，選択肢集合の不確実性に伴うバイアスを除去したパラメータ推定値を得ることができる^[2]．また，この方法で推定計算を行う場合には，必ずしもランダムに選択肢を抽出して選択肢集合を設定する必要が無く，本章のように，活動連鎖パターンから一つずつ選択肢を抽出するという方法でも，そのバイアスを除去したパラメータ推定値が得られる．

そこで，本章では，選択肢集合に不確実性を考慮した上で生活効用関数を特定化することを目指して，以下の様な尤度関数を定義した．

$$L = \prod_n \left[\frac{\exp[V_i^n + \ln\{P(D^n|j)\}]}{\sum_{j \in D^n} \exp[V_j^n + \ln\{P(D^n|j)\}]} \right] \quad (8-9)$$

ここに，

D^n : 8.3.1 で述べた手順で設定した個人 n の選択肢集合

$P(D^n|j)$: 選択肢 j が選択されるという条件の下で，選択肢集合 D^n が形成される条件付き確率

ここに， $P(D^n|j)$ は，

$$P(D^n|j) = \frac{P(D^n = TC_n)}{P_j^n} \quad (8-10)$$

なお， $P(D^n = TC_n)$ は式(8-8)で定義した，選択肢集合 D^n が形成される（すなわち，個人 n の真の選択肢集合集合 TC_n と D^n が一致する）確率であり， P_j^n は以下の式(8-11)の様に定式化される活動連鎖パターン j が選択される確率である．

$$P_j^n = \sum_{D_l^n | (D_l^n \subseteq C_n), (i \in D_l^n)} \left\{ P(TC_n = D_l^n) \frac{\exp(V_j^n)}{\sum_{k | k \in D_l^n} \exp(V_k^n)} \right\} \quad (8-11)$$

ここで，式(8-10)，式(8-11)，式(8-8)を式(8-9)に代入すると，

$$L = \prod_n \left[\frac{\exp[V_i^n - \ln\{P_{IN}^n(i)P^n(i|i_{IN})\}]}{\sum_{j \in D^n} \exp[V_j^n - \ln\{P_{IN}^n(j)P^n(j|j_{IN})\}]} \right] \quad (8-12)$$

ここに，

$$P^n(j|j_{IN}) = \sum_{D^n | (D^n \subseteq C_n)(j \in D^n)} \left\{ \prod_{l|l \in D^n, l \neq j} P_{IN}^n(l) \prod_{l|l \notin D^n} \{1 - P_{IN}^n(l)\} \frac{\exp(V_j^n)}{\sum_{k|k \in D^n} \exp(V_k^n)} \right\} \quad (8-13)$$

という極めて複雑な尤度関数が誘導される．この尤度関数に基づいて推定計算を行った場合の計算コストは極めて大きなものとなることが予想される．したがって，計算コストの観点からは，以下の繰り返し推定計算を行うこと得策であるものと考えられる．

STEP A) 式(8-7)，式(8-8)より導かれる，

$$P_{IN}^n(j) = \prod_{k|k \in SZ_{nj}} \Phi(\mathbf{BW}_{nk} - \theta) \quad (8-14)$$

なる式に基づいて $P_{IN}^n(j)$ を算定する．

STEP B) 初期条件として，任意の j, k について， $P(j|j_{IN}) = P(k|k_{IN})$ が成立するものとして，

$$L = \prod_n \left[\frac{\exp[V_i^n - \ln\{P_{IN}^n(i)\}]}{\sum_{j \in D^n} \exp[V_j^n - \ln\{P_{IN}^n(j)\}]} \right] \quad (8-15)$$

なる尤度関数を式(8-11)より導き，これに **STEP A)** で算定した $P_{IN}^n(j)$ を代入し，パラメータを推定する．

STEP C) 式(8-13)に基づいて，**STEP B)** あるいは **STEP D)** で推定されたパラメータを用いて，全ての j について $P(j|j_{IN})$ を算定する．

STEP D) **STEP C)** で算定した $P(j|j_{IN})$ を与件として与え，式(8-12)の尤度関数に基づいて再びパラメータを推定する（なお，予め収束条件を定義し，その条件を満たせば計算終了，満たさない場合は **STEP C)** へ）．

以上の繰り返し計算を行ってパラメータを推定することで選択肢集合の不確実性に伴うバイアスの除去することができる．

なお，ここでは，各サンプルについて生成していただきたい生活パターンのそれぞれがその個人の実際の選択肢集合に含まれる確率を式(8-14)に基づいて算定した(**STEP A)**，そして，式(8-15)に示した尤度関数を最大化することで，生活効用関数を特定化することとした(**STEP B)** ^[3]．

8.3.3 生活効用の要因とその効果の特定化

効用関数の要因としては、活動時間に加えて、活動場所の地域属性として自由活動場所でのサービス事業所数も導入した。活動時間については、在宅時間、宅外自由時間、移動時間の 3 つを基本的に考えたが、在宅については就寝直前の在宅とそれ以外の 2 種類、移動時間については職場から直接帰宅する場合の移動とそれ以外の 2 種類にそれぞれ分類した上で活動時間を求めた。この様に分割したのは、それぞれにおいて活動の実行に伴う限界効用が異なるものと考えたからである。

ここで、こうして設定した要因の非線形性を考慮するために、本章では、まず、これらの要因についてのダミー変数を定義した推定計算を行うこととした。

以上の前提に基づいて推定した結果を表 8-1 に示す。また、表 8-1 に示したダミーパラメータ推定値と、そのダミー変数の活動時間カテゴリーの中央値との対応関係を示したものを図 8-1 ~ 図 8-3 に示す。なお、図 8-1 ~ 図 8-3 には、移動時間、在宅時間、宅外自由活動時間のそれぞれについてのダミーパラメータを被説明変数、各ダミー変数のカテゴリーの中央値を説明変数として行った単回帰線も示した。なお、単回帰推定の際には、それぞれのダミーカテゴリーに反応したサンプル数をそのパラメータ推定値の重みとした重み付き最小二乗法を用いた。ただし、これらの図に示した単回帰線は、説明変数であるダミーパラメータに対数をとったもの、指数をとったもの、および、線形を仮定したものの中で最も適合度の高いものである。

まず、図 8-1 から、就寝直前であっても、就寝直前以外であっても、在宅時間の消費に伴う限界効用は正であることが確認できる。そして、いずれの単回帰においても良好な適合度が得られていることが示されている。ただし、就寝直前以外の在宅時間についての限界効用は一定であるが、就寝直前の在宅時間についての限界効用は逡減していくことが分かる。これは、今回の推定計算では、就業者のみを対象としていることから、推定サンプルに含まれるいずれの就業者も就寝直前以外の在宅活動を十分に実行することはできない一方で、就寝直前の在宅活動には、就寝直前以外の在宅活動に比べて十分の時間を費やすことが可能であることが原因で

表 8-1 ダミー変数のみを用いた生活効用関数の推定結果

ダミー変数	パラメータ値	
サービス事業所数が100～200,000の地域で1分～10分の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O1D1)	7.56	8.49
サービス事業所数が100～200,000の地域で10分～30分の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O1D2)	8.67	21.07
サービス事業所数が100～200,000の地域で30分～120分の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O1D3)	9.76	24.91
サービス事業所数が100～200,000の地域で120分～の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O1D4)	10.90	17.32
サービス事業所数が200,000～500,000の地域で1分～10分の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O2D1)	7.68	6.21
サービス事業所数が200,000～500,000の地域で10分～30分の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O2D2)	9.43	19.57
サービス事業所数が200,000～500,000の地域で30分～120分の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O2D3)	10.66	25.18
サービス事業所数が200,000～500,000の地域で120分～の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O2D4)	12.26	16.96
サービス事業所数が500,000～1,000,000の地域で1分～10分の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O3D1)	7.88	4.15
サービス事業所数が500,000～1,000,000の地域で10分～30分の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O3D2)	9.65	12.95
サービス事業所数が500,000～1,000,000の地域で30分～120分の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O3D3)	11.33	16.09
サービス事業所数が500,000～1,000,000の地域で120分～の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O3D4)	12.96	13.82
サービス事業所数が1,000,000～の地域で1分～10分の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O4D1)	10.06	2.37
サービス事業所数が1,000,000～の地域で10分～30分の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O4D2)	11.49	4.91
サービス事業所数が1,000,000～の地域で30分～120分の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O4D3)	12.66	10.80
サービス事業所数が1,000,000～の地域で120分～の自由活動を実行した場合1, それ以外0 (O4D4)	14.94	13.87
就寝直前の在宅時間が1～90分の場合1, それ以外0 (H1D1)	-1.48	-8.80
就寝直前の在宅時間が90～180分の場合1, それ以外0 (H1D2)	-0.51	-3.45
就寝直前の在宅時間が180～270分の場合1, それ以外0 (H1D3)	0.92	6.70
就寝直前の在宅時間が270～360分の場合1, それ以外0 (H1D4)	1.01	7.75
就寝直前の在宅時間が360分～の場合1, それ以外0 (H1D5)	0.06	0.29
就寝の直前ではない在宅時間が1～30分の場合1, それ以外0 (H2D1)	-0.56	-2.68
就寝の直前ではない在宅時間が30～60分の場合1, それ以外0 (H2D2)	-0.24	-0.80
就寝の直前ではない在宅時間が60～120分の場合1, それ以外0 (H2D3)	0.11	0.31
就寝の直前ではない在宅時間が120分～の場合1, それ以外0 (H2D4)	1.20	2.24
職場からの帰宅移動時間が5～30分の場合1, それ以外0 (T1D1)	2.95	11.19
職場からの帰宅移動時間が30～60分の場合1, それ以外0 (T1D2)	1.66	12.49
職場からの帰宅移動時間が60～120分の場合1, それ以外0 (T1D3)	-0.88	-6.12
職場からの帰宅移動時間が120分～の場合1, それ以外0 (T1D4)	-3.71	-10.20
自由目的トリップの移動時間が5～30分の場合1, それ以外0 (T2D1)	-10.94	-65.08
自由目的トリップの移動時間が30～60分の場合1, それ以外0 (T2D2)	-13.91	-121.33
自由目的トリップの移動時間が60～120分の場合1, それ以外0 (T2D3)	-15.87	-161.38
自由目的トリップの移動時間が120分～の場合1, それ以外0 (T2D4)	-16.70	-111.22

Sample Size = 2,179

() 内は変数名

L(C) = -1083.53

L(B) = -682.00

 $\chi^2 = 803.06$

あるものと思われる。すなわち、就寝直前の在宅活動には十分な時間を配分しているサンプルが存在したために限界効用の逓減が示された一方で、就寝直前以外の在宅活動には、限界効用が逓減するほどに十分長い時間を実行しているサンプルがいなかったことが、線形の効果を示

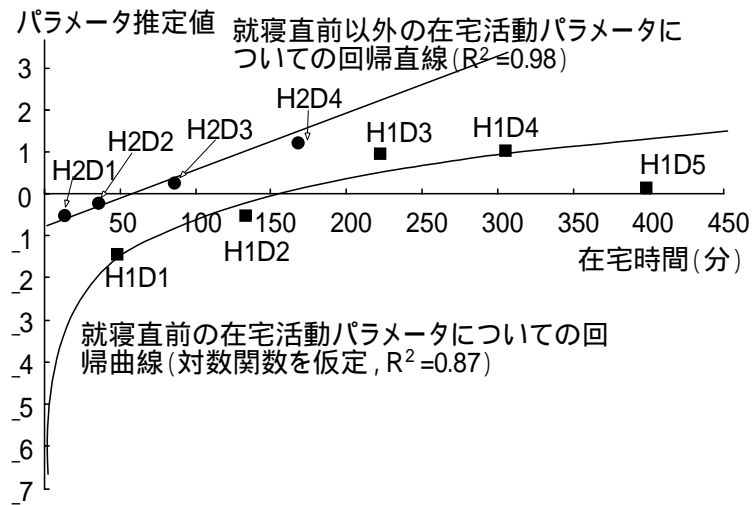


図 8-1 生活効用関数での在宅時間パラメータ推定値

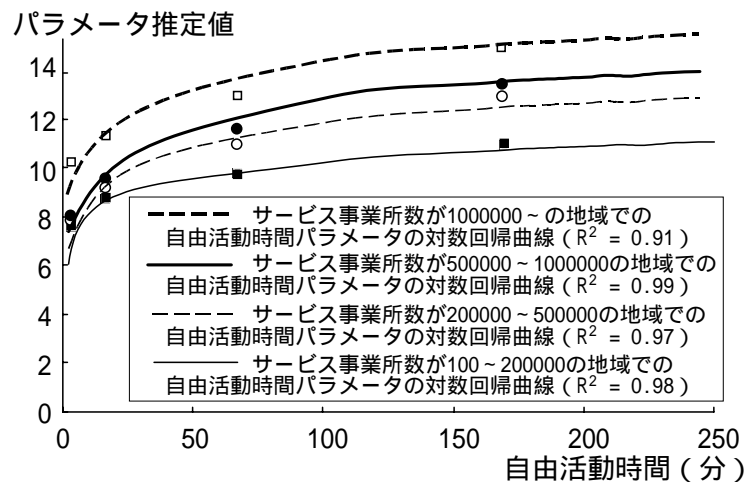


図 8-2 生活効用関数での宅外自由活動時間パラメータ推定値

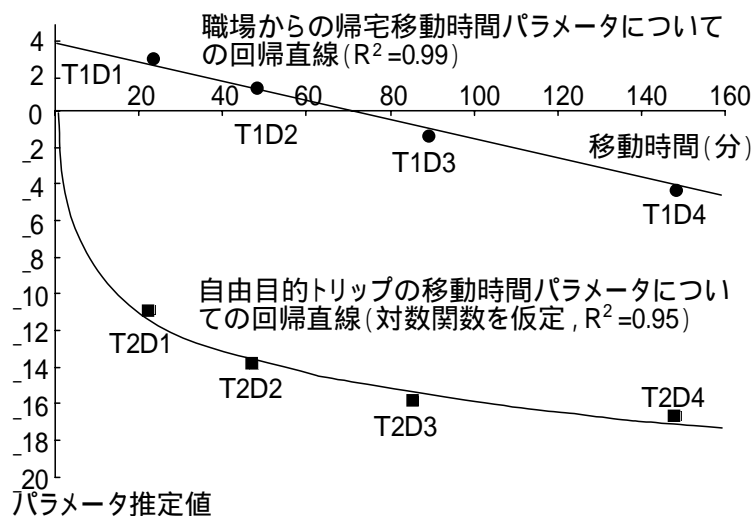


図 8-3 生活効用関数での移動時間パラメータ推定値

された原因であると推察される。ただし、この点についてより詳細に検討を加えるためには、就業者の休日のデータ、あるいは、非就業者のデータを用いた推定計算が必要であると考えられる。

次に、図 8-2 に着目すると、在宅と同様に、宅外での自由時間の消費に伴う限界効用は正であることが分かる。また、図 8-1 に示した就寝直前の在宅活動時間の推定結果と同様に、対数回帰が最も適合度が高かったことから、宅外での自由活動の消費に伴う限界効用は逓減することが分かった。さらに、その限界効用は、サービス事業所数がより大きい地域で自由活動を実行する場合の方が、大きくなるという傾向がある。また、いずれのサービス事業所数の地域での自由活動時間のパラメータについての対数単回帰の適合度も、極めて良好である。以上のことから、自由活動の実行に伴う限界効用は逓減し、かつ、その逓減の様子を対数関数で表現可能であることが分かった。さらに、サービス事業所数の多い地域、すなわち、都心部における繁華街といった地域の方が、自由活動を実行に伴う限界効用が大きいという傾向が存在することが分かった。

最後に、図 8-3 からは、職場から帰宅移動、および、自由目的トリップのそれぞれについては、在宅活動や宅外自由活動とは逆に、その時間が増加するに伴って総効用が減少していく傾向にあることが分かる。このことは、6.4 で述べた SP データに基づいた解析で得られた知見と同様に、移動は負の限界効用を持つ負のサービスであることを示している。ただし、前者は一定の負の限界効用を持ち、後者の負の限界効用は逓減していくことが分かる。この結果は、日々繰り返す通勤トリップに対しての個人の態度と、時折行う自由目的トリップに対しての態度とが異なっていることを意味しているものと思われる。それに加えて、両者の限界効用の性質が異なったことの原因の一つとして、個人がより遠方の地での自由活動を実行することを選択する傾向が挙げられるものと思われる。長い時間を自由目的トリップに費やすことは、より遠方の地で自由活動を実行することを意味しており、したがって、遠方の地で自由活動を実行することで得られる正の限界効用が移動に伴う負の限界効用を相殺し、その結果、自由目的トリップの限界効用が逓減するという形で推定結果が得られたものと思われる。なお、宅外自由活動の限界効用を、サービス事業所数の関数だけでなく、その活動場所に訪れるために実行したトリップの所要時間を導入していた場合には負の限界効用が低減するという推定結果が得られなかった可能性も存在するが、この点について詳細に検討を加えるためには、効用関数の定式化について再度検討を加え、再推定を行うことが必要であるものと考えられる。

以上の計算結果より、生活効用関数を以下のように特定化した。

$$\begin{aligned}
 V_i^n = & \left(a_1 + a_2 \text{serve}_i^n \right) \ln \left(DFree_i^n \right) \\
 & + a_3 DHome_i^n + a_4 \ln \left(DNhome_i^n \right) \\
 & + a_5 DCommute_i^n + a_6 \ln \left(DFtrip_i^n \right) \\
 & + Int2 + Int3
 \end{aligned} \tag{8-16}$$

表 8-2 生活効用関数の推定結果

変数名	パラメータ	t値
$\ln(Dfree)$	0.57	4.06
$Serve*\ln(Dfree)$	0.000099	12.05
$Dhome$	0.81	3.14
$\ln(DNHome)$	0.43	2.30
$Dcommute$	-0.049	-9.72
$\ln(DFtrip)$	-4.09	-14.21
$Int2$	8.60	6.82
$Int3$	6.88	4.35

Sample Size = 2,179

$L(C) = -1083.53$

$\chi^2 = 947.08$

$L(B) = -610.00$

$\rho^2 = 0.44$

ここに、

$Serve_i^n$: 宅外自由活動を実行する場所のサービス事業所数

$DFree_i^n$: 宅外自由活動時間

$DHome_i^n$: 就寝直前以外の在宅時間

$DNHome_i^n$: 就寝直前の在宅時間

$DCommute^n$: 職場からの帰宅通勤時間

$DFtrip^n$: 職場からの帰宅通勤以外の移動時間（自由活動のための移動時間）

$a_1 \sim a_6$: 未知パラメータ

$Int2, Int3$: 連鎖パターン 2, 3 の定数項

なお、ここで定数項 $Int2, Int3$ を導入したのは、ここで設定した変数群で説明できなかった要因が存在するか否かを検討するためである。

式（8-16）の生活効用関数に基づいて、ダミー変数で表 8-1 に示した推定計算と同様の前提で推定計算を行った結果を表 8-2 に示す。

表 8-2 から、各変数の符号条件については、図 8-1～図 8-3 に示した傾向と同一のものが得られており、いずれの変数についても有意な係数が推定されていることが分かる。また、モデルの適合度についても良好なものが得られており、かつ、表 8-1 に示したダミー変数のみを用いたモデルよりもさらに向上していることが分かる。なお、連鎖パターン 2, 3 のそれぞれについての定数項として有意なものが推定されている。このことは、今回導入した変数群以外にも、生活効用に影響を及ぼす要因が存在することを示唆しており、今後、生活効用関数の要因をさらに検討することが必要であるものと考えられる。

8.4 期待生活効用の算定例

ここでは、現代都市において進行した郊外化によって、就業者の生活の質はどのように変化したのか、を把握することを目指して、居住地域別、就業地域別の就業者を対象として期待生活効用を算定することとした。なお、居住地、就業地としては、大阪市、京都市、枚方市、藤井寺市の4つを選定した。

8.4.1 期待生活効用の算定手順

本章では、以下のような手順で期待生活効用を算定した。

仮想個人の設定：上述の4地域を居住地、就業地とし、かつ、勤務時間帯を9時から17時である16人の仮想的な個人を設定する。

選択肢集合の特定：各個人について、で特定した固定活動スケジュールを与件として、8.2.2で述べた方法を用いて集合 C_n を特定する。そして、集合 C_n 内の全ての活動連鎖パターンについて、式(8-6)に基づいて $P_{rec}^n(k)$ を算定する。さらに、集合 C_n の全ての部分集合 D_j^n について、 $P_{rec}^n(k)$ を用いて式(8-8)に基づいて $P(D_j^n = TC_n)$ を求める。

自由活動時間の配分：上記で特定した C_n の全ての部分集合 D_j^n のそれぞれにおける自由時間を、8.3.3で推定した効用関数に基づいて在宅と宅外自由活動のそれぞれに最適に配分する^[4]。そして、効用関数(8-16)に活動時間、移動時間等を導入することで、集合 C_n に含まれる全ての生活パターンについての確定効用値を算定する。

期待生活効用の算定：式(8-3)に、で求めた集合 C_n の全ての部分集合についての $P(D_j^n = TC_n)$ 、で求めた集合 C_n に含まれる全ての生活パターンについての確定効用値を代入し、それぞれの仮想個人についての期待生活効用を算定する。

8.4.2 期待生活効用にに基づく評価例

以上に述べた手順に基づいて算定した結果を表8-3に示す。また、表8-3の期待生活効用に基づいて、居住地別に勤務地別の期待生活効用の順位を示したものを表8-4に、居住地-勤務地別の期待生活効用の順位を示したものを表8-5に示す。なお、以下では、便宜的に居住地がA、勤務地がBの個人を「A-B個人」と呼ぶこととする。また、ここに示す期待生活効用は、その値の絶対は意味を持たない。ただし、個々の数値の大小関係には当然ながら意味があり、かつ、各個人が効用関数を共有するものと仮定しているため、期待生活効用の個人間での比較が可能である。

まず、表8-3、表8-4に着目すると、いずれの地域に居住していても、自らの居住地に職場がある個人が最も期待生活効用が高く、職場が居住地から遠ざかるにつれて期待生活効用が低下していく、すなわち、「生活の質」が低下していく傾向が読み取れる。これは、通勤時間が短くなれば自由時間が増加し、それに伴って多様な自由活動を実行できることとなるからであ

る．本章で提案した期待生活効用でこの様な傾向が示されたのは，明示的にプリズム制約を考慮した上で選択肢集合を特定化したこと，ならびに，自由活動時間を生活効用関数に導入したためである．

さらに，表 8-4 からは，京都市と大阪市のほぼ中間に位置し，京都市と大阪市のいずれに勤務しても通勤時間がさほど変わらない枚方市の居住者については，京都市で勤務するよりも大阪市の方が高い順位となっていることが分かる．これは，勤務地周辺により多くのサービス事業所数が存在する地域，すなわち，繁華街が存在することは期待生活効用を向上させる原因となることを示しているものと考えられる．

次に，表 8-3，表 8-5 からは，大阪市-大阪市個人の期待生活効用が最も高く，京都市-京都市期待生活効用がその次に高い水準となっていることが分かる．これは，都市に住み，かつ職場が自宅から近い場所にある場合には，限界効用の高いサービス事業所数の多い繁華街等での自由活動を，より長い時間実行できる可能性をもっていることから，この様な結果となったものと思われる．さらに，3 番目，4 番目，5 番目に着目すると，いずれも大阪市居住者のものとなっており，藤井寺市-藤井寺市個人の期待生活効用 枚方市-枚方市個人の期待生活効用の順番は，その次となっている．この結果は，大都市に居住していれば，多少長い通勤時間が必要な職場に勤務していたとしても，帰宅途上や帰宅後に限界効用の高い繁華街等での自由活動を実行することができる一方で，郊外の居住者が実行する宅外自由活動では，都心で得られるほどの限界効用が得られないため，と考えられる．それに加えて，大阪市は枚方市，藤井寺市，京都市といった地域へのアクセスが比較的容易であることも原因と考えられる．

表 8-3 居住地-勤務地別の期待生活効用

		居住地			
		京都市	枚方市	藤井寺市	大阪市
勤務地	京都市	0.099	-0.188	-0.132	0.018
	枚方市	-0.010	0.014	-0.107	0.032
	藤井寺市	-0.106	-0.225	0.017	0.035
	大阪市	-0.022	-0.174	-0.076	0.116

表 8-4 居住地別の勤務地別の期待生活効用の順位

		居住地			
		京都市	枚方市	藤井寺市	大阪市
勤務地	京都市	1	3	4	4
	枚方市	2	1	3	3
	藤井寺市	4	4	1	2
	大阪市	3	2	2	1

表 8-5 居住地-勤務地別の期待生活効用の順位

		居住地			
		京都市	枚方市	藤井寺市	大阪市
勤務地	京都市	2	15	13	5
	枚方市	8	7	12	4
	藤井寺市	11	16	6	3
	大阪市	9	14	10	1

さらに順を追って見ていくと、京都市居住者が 8 番目、9 番目となっており、やはり、都市居住者の期待生活効用の高さが伺える。ただし、京都市-大阪市個人よりも京都市-枚方市個人の方が高い。このことは、先述のように勤務地周辺に繁華街が存在することは期待生活効用を向上させる原因となるものの、京都市のように居住地近辺に繁華街が存在する場合には、通勤時間の短い地域で勤務する方が期待生活効用は高いことが分かる。

以上の数値計算から、やはり、職住近接が最も望ましい勤務形態であり、郊外化によって期待生活効用は低下していることが示唆された。それに加えて、大阪や京都といった都市部に居住している方が高い限界効用の宅外自由活動を長く実行できるという点で、都市部居住者の方が郊外居住者よりも期待生活効用が大きなものとなっていることも示された。

また、これらの数値計算から、本章で提案した期待生活効用は、プリズム制約に基づいて選択肢集合を特定し、そして地域属性、自由活動時間を導入した生活効用関数に基づいて算定されていることから、個人の通勤時間や、居住地や就業地の地域属性が及ぼす効果を、それらのトレードオフを考慮した上で反映させた指標となっていることも確認できた。したがって、ここで述べた様な個人の生活行動を考慮した上で、自らの生活パターンに対して抱いている主観的な満足度、すなわち、「生活の質」を念頭においた地域評価を行うことができたのである。ただし、本節で述べたように、大阪や京都といった地域の居住者に有利な結果となったが、これは、本章で構築した生活効用関数に地域属性として繁華街の規模の指標と考えられるサービス事業所数のみを導入しているためである。本章で示した期待生活効用に、真の意味での個人の「生活の質」を反映させるためには、本稿で用いた要因以外にも、住居の質や居住地域の自然環境等のさまざまな要因を導入することが不可欠であると思われる。

8.4 結語

本章では、個人の生活の質に貢献する交通政策を評価するための基礎指標を開発すべく、生活行動を効用理論でモデル化した上で、期待生活効用を定式化した。そして、PT データを用いて選択肢集合の不確実性を考慮したパラメータ推定を行い、居住地-就業地別の就業者個人の期待生活効用を算定した。これらの算定計算を通じて、本章ではいくつかの知見が得られた。

まず、得られた知見の一つとして、在宅活動、宅外自由活動の実行に伴う限界効用は逡減していく、ということが挙げられる。この知見は、既に、第七章の統計解析からも得られている

知見であるが、本章においてもダミーパラメータを用いて生活効用関数を推定した結果として統計的に示されたものである。さらに、ダミーパラメータ推定値を被説明変数とする対数単回帰モデルを推定した結果、極めて良好な適合度が得られた。このことは、在宅や宅外自由活動といった自由活動の実行に伴う限界効用は活動時間に逆比例して逓減しており、それぞれの総効用は対数関数に比例していることを示すものである。本論文では、第七章において開発したPCATS-RUMでは対数関数を用いているが、ここで示された上述の結果は、この行動モデルにおける効用関数形の妥当性を統計的に支持するものであると考えられる。また、宅外の自由活動に伴う限界効用については、その自由活動を実行する場所のサービス事業所数に影響を受けていることも示された。この知見は、PCATS-RUMの生活効用モデルでも確認された知見である。

また、本章での推定計算では、移動時間についても効用関数に導入しているが、生活行動モデルの推定の結果、通勤トリップ時間の増加に伴う限界効用と自由活動のためのトリップ時間の増加に伴う限界効用とは、大きな差が存在することが分かった。前者の負の限界効用は一定であるものの、後者の負の限界効用は低減していくことが確認された。

さらに、期待生活効用の算定例からは、近年の都市の郊外化に伴って、就業者の生活の質は低下していることが示唆された。この傾向は、通勤時間が長くなることで自由時間が減少すること、ならびに、郊外に居住することで、限界効用の大きな都心での活動を実行する確率が低下すること、がその原因であった。この結果は、都心における職住近接の実現が、就業者の「生活の質」の向上に大きな貢献を果たすであろうことが示しているものと考えられる。

本章では、効用理論の枠組みに基づいて、個人の生活の質の一指標として期待生活効用を提案した。しかし、実際の個々人の生活には、観測、ならびに、定量化が困難な様々な事柄（事件）が日々生じており、それらが、その個人の生活の質を規定する側面が大きいものと考えられる。また、人それぞれの考え方がその個人が主観的に認識する生活の質に大きな影響を及ぼしているであろう。本研究で提案する期待生活効用の枠組みでは、一人一人の個性と背景を考慮した生活の質を定式化することは極めて困難である。ただし、各個人は、「自由時間が長い」あるいは「通勤時間が短い」といったことを選好する傾向を、共通して持っているものと考えれば、社会基盤整備や交通計画といったマクロな政策を個人の生活の質を念頭に置いた上で評価するための指標として、本研究で示した期待生活効用が意味を持つものとなる可能性が十分に存在するものと考えられる。すなわち、政策前後で各個人の期待生活効用を算定し、その差を求め、これを政策間で比較することで、生活の質を念頭に置いた上で、いずれの政策が、いずれの個人に対して、より効果的であるかを検討することが可能となるものと期待される。

注

[1] 第七章で述べた PCATS-RUM における生活効用モデルのパラメータを推定する際には、観測生活パターンの代替生活パターンを生活行動シミュレータ PCATS で複数個生成し、選択肢集合を設定したが、ここでは、PCATS を用いずに簡便に代替生活パターンを生成する方法として、本文に述べている方法を用いた。なお、本文に述べている方法では、連鎖パターン 1, 2, 3 のそれぞれについて一つずつ選択肢を生成しているため、PCATS を用いて生成したように選択肢をランダムに生成したことにはならない。選択肢集合に不確実性が存在する際にこのような非ランダムな方法で生成した選択肢集合を用いて推定計算を行うと、バイアスが生じることになるが³⁾、本章では、8.3.2 で述べるような方法でこのバイアスを除去している。

[2] いま、選択肢集合に不確実性が存在する場合に、推定時に分析者が個人 n について選択肢集合 D_n を設定して、推定計算を行う場合を考える。この場合、この個人 n が選択肢集合 D_n を形成しており、かつ、実際に選択した選択肢 i^n が選択される同時確率 $P(i^n, D_n)$ は、以下のように定式化できる。

$$P(i^n, D_n) = P(D_n | i^n) \cdot P(i^n) = P(D_n) \cdot P(i^n | D_n) \quad (\text{H-1})$$

$P(i^n)$: 個人 n が選択肢 i^n を選択する確率

$P(D_n | i^n)$: 個人 n が選択肢 i^n を選択するという条件のもとで選択肢集合 D_n が形成される条件付き確率

$P(D_n)$: 個人 n が選択肢集合を D_n 形成する確率

$P(i^n | D_n)$: 個人 n が選択肢集合 D_n を形成するという条件のもとで選択肢 i^n を選択する条件付き確率

この式より、

$$P(i^n | D_n) = \frac{P(D_n | i^n) \cdot P(i^n)}{P(D_n)} \quad (\text{H-2})$$

一方、

$$P(D_n) = \sum_{j \in D_n} P(D_n | j) P(j) \quad (\text{H-3})$$

したがって、(H-2)、(H-3) より、

$$P(i^n | D_n) = \frac{P(D_n | i^n) P(i^n)}{\sum_{j \in D_n} P(D_n | j) P(j)} \quad (\text{H-4})$$

ここで、選択肢個人 n の選択肢 j の確定効用を V_j^n 、真の選択肢集合を TC_n とすると、

$$P(i^n) = \frac{\exp(V_{i^n}^n)}{\sum_{j \in TC_n} \exp(V_j^n)} \quad (\text{H-5})$$

(H-4)、(H-5) より、

$$\begin{aligned}
P(i^n|D_n) &= \frac{P(D_n|i^n)\exp(V_{i^n}^n)}{\sum_{j \in D_n} P(D_n|j)\exp(V_j^n)} \bigg/ \frac{\sum_{j \in TC_n} \exp(V_j^n)}{\sum_{j \in TC_n} \exp(V_j^n)} \\
&= \frac{P(D_n|i^n)\exp(V_{i^n}^n)}{\sum_{j \in D_n} P(D_n|j)\exp(V_j^n)} \\
&= \frac{\exp(V_{i^n}^n) + \ln\{P(D_n|i^n)\}}{\sum_{j \in D_n} [\exp(V_j^n) + \ln\{P(D_n|j)\}]}
\end{aligned} \tag{H-6}$$

この条件付き確率に基づいて、尤度関数を求め、これを最大化することで得られるパラメータ推定量には、一致性が保証される³⁾。

- [3] 選択肢集合の不確実性に伴うバイアスを完全に除去するためには、本文中に述べた様に、STEP A～STEP D までの繰り返し計算を行うことが必要である。しかし、本稿に示す数値計算例では、STEP C, D の繰り返し計算を行っていない。したがって、不確実性に伴うバイアスを完全に除去するまでには至っておらず、近似的な推定値が算定されているものと考えられる。本稿では、不確実性に伴う推定バイアスを除去するための方法論を示すにとどめ、不確実性に伴うバイアスを完全に除去した、一致性が保証される推定計算については、今後の課題としたい。
- [4] 今回の推定計算では、ダミーパラメータに基づいた検討の結果、就寝以外の在宅活動については、生活効用に対して線形の効果を持つことが示されたため、線形関数を用いた。しかし、自由活動時間配分モデルを適用するにあたり、自由活動時間が線形で定式化されている場合には、総自由時間（余暇時間）の長短に関わらず、パラメータ値からその他の活動時間が一意に決定されることとなり、個人間の相違が表現できない。この問題を回避するために、ここで示した数値計算例では、就寝直前以外の在宅活動については、推定計算時と同様に実測データから得られる活動時間分布を用いた。ただし、それ以外の活動については、6.2.4 に述べたものを用いている。

第八章 参考文献

- 1) 藤井 聡，北村隆一，長沢圭介：選択肢集合の不確実性を考慮した生活行動モデルに基づく地域評価・政策評価指標の開発，土木学会論文集（投稿中）．
- 2) 原田哲郎，多々納裕一，小林潔司，喜多秀行：選択の多様性を考慮した地方バス路線の整備便益評価モデル，土木学会第 49 回年次学術講演会概要集 4，PP. 892-893, 1994.
- 3) Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R.; *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, 1985.

第九章 結論

本研究では、的確な交通需要予測を行うこと、ならびに、個人の生活行動に貢献する交通政策を立案することを目指して、activity-based approach の考え方に基づいたいくつかの生活行動モデルの開発、および、生活の質を考慮した指標の定式化を行った。以下に、各章にて構築した生活行動モデル、定式化した生活の質を考慮した評価指標、ならびに、それらを通じて得られた知見をまとめる。

第二章では、既存の activity-based approach に基づいた研究についての文献調査を行った。ここでは、従来の生活行動モデルを、構造方程式モデルの枠組みに基づくもの、制約条件下の効用最大化の原理を仮定したもの、いくつかの行動モデルを組み合わせたもの、の3つに分類しそれぞれの特徴を整理した。そして、それらを踏まえて、本研究の研究方針を検討し、誘発需要解析を行うことを主な目的とした構造方程式モデルに基づいた生活行動モデル、政策が個人に及ぼす総合的な影響を分析することを目的とした、逐次的な意思決定過程を仮定した生活シミュレーションモデル、そして、制約条件下での効用最大化の原理に基づいた行動モデルの3者を構築することとした。一方、これらのモデル開発にあたって必要とされるダイアリーデータについては、第三章にて述べた。

第四章では、個々の変数間の共分散関係を直接的、かつ、統計的に分析することができる構造方程式モデルの枠組みで、就業者の勤務終了後の生活パターンを再現するモデルシステムを構築した。この分析では、個人の生活行動パターンを、トリップ頻度や内容別の活動時間などのいくつかの変数で定量的に表現し、それらの変数を内生変数とし、その一方で、交通サービスレベルや個人属性などを外生変数として、それらの間の相関関係を把握した。その結果、心理的要因が就業者の行動パターンに影響していること、在宅時間や宅外の自由時間等の交通行動以外の生活行動に関する指標を内生変数としてモデルに導入することで、交通発生モデルの適合度が高くなることが分かった。特に、通勤時間が交通発生頻度についての指標に対して有意に負の影響を及ぼしていることが分かった。この結果は、交通容量の拡張などによって交通速度が改善され、通勤時間が短縮された場合には、その交通容量の拡張によって新たな交通需要が誘発される可能性が存在することを示すものである。このような誘発需要が存在する場合には、従来の四段階推計法に代表されるような誘発需要の存在を仮定しない方法論を用いた場合、誤った政策判断がなされてしまう可能性が存在する。したがって、的確な交通需要解析を行うためには、誘発需要の存在を的確に把握することが必要であるものと考えられる。

なお、構造方程式モデルの枠組みで生活行動をモデル化する場合、対象個人、ならびに、内生変数を限定する必要がある。したがって、一般的な生活行動モデルの構築を図る場合は、構造方程式モデルの枠組みは適切ではない。ただし、ここで示した様に、活動と移動との関係を考慮した上で需要予測を行うことが可能であり、対象を限定した政策評価を簡便に行うためには有効であるものと考えられる。

第五章では、的確な交通需要解析を行うためには、複数の活動についての場所や時間、内容といった種々の要素を考慮することが不可欠であるとの認識から、個人の生活行動を再現するマイクロシミュレーションモデル PCATS の構築を図った。このシミュレーションモデルは、第四章で述べた構造方程式モデルとは異なり、モデル化の対象を限定する必要が無い点、ならびに、交通機関選択を内生化した地理的平面上ならびに時間軸上での行動軌跡を再現できるという点において、政策評価ツール、あるいは、総合的な需要解析ツールとしては、適用範囲の広いものであると考えられる。PCATS では、活動場所、内容、時間、交通機関といった非常に多くの要素から構成される生活パターンを効率的に生成することを目的として、個人の意思決定過程として逐次的、段階的な意思決定過程を仮定している。そして、個々の意思決定を、活動内容選択モデル、交通機関・目的地選択モデル等の複数のサブモデルでモデル化し、それらを組み合わせることでシミュレータを構成した。また、個々のサブモデルを用いて個々の意思決定を再現するにあたり、それぞれの選択肢集合を、現在位置と時刻、次の固定活動の開始時刻と場所に基づいて特定化される時間的、空間的な制約条件、および、coupling constraints を明示的に考慮した上で特定化した。個々のサブモデルについては、ダイアリー調査から得られたデータに基づいて構築した。特に、交通機関、目的地選択モデルを構築した際に得られた適合度は極めて高いものであった。このことから、交通行動モデルを構築する際には、生活行動を考慮することが重要であること、ならびに、プリズム制約、自動車の利用可能性等の種々の制約条件を考慮することが重要であることが分かった。

しかし、実際の個人が常に生活行動について逐次的な意思決定を常に行っているとは考えがたい。また、個別にモデル化した活動時間分布、活動内容選択、交通機関・目的地選択の意思決定がそれぞれ独立であるとは考えがたい。さらに、活動時間を再現するために適用した Duration Model は、個人の意思決定の結果を再現するモデルであり、意思決定を直接的に再現するモデルではない。第六章では、これらの問題点に対処するためには、効用理論に基づいた生活行動モデル、すなわち、生活効用モデルを構築することが有効であるとの認識に立ち、生活効用モデルを構築するにあたっての基礎的な検討を行った。その中で、生活効用モデルを構築するためには、活動場所、内容といった離散的な決定変数と、活動場所といった連続的な決定変数をどのような枠組みで同時に内生化するのか、という点と、選択肢集合が極めて大きなものとなる、という点の両者について何らかの対策を講じる必要があることを指摘した。そして、第六章では、前者については、活動連鎖パターンを複数想定し、想定したそれぞれの活動連鎖パターンの各活動に最適に活動時間を配分し、最大の効用を与える活動連鎖パターンを選択する、という段階的な意思決定過程を仮定した離散-連続モデルの枠組みを適用することとした。後者については、実験計画法に基づいて設定した仮想的な複数の生活パターンを被験者に提示し、そこで得られた SP データを用いることで膨大な生活パターン選択肢集合を扱わずに生活効用関数についての推定計算を行う、という方法を用いた。

推定計算の結果、在宅、宅外自由は正の限界効用を持つ活動である一方で、仕事、および、移動は、負の限界効用を持つ負の財（サービス）であることが示された。ただし、それぞれの

活動の限界効用には、個人間の異質性があること、および、その異質性は各個人の各活動に対する選好の傾向、すなわち、選好水準によって影響を受けていることが分かった。また、仮想的な個人、仮想的なネットワークを仮定した簡単な数値計算の結果、少なくとも、予測時に個人についての選択肢集合を外生的に与えることができるならば、生活効用関数を用いて生活行動軌跡を再現した上で交通発生メカニズムを十分に考慮した交通需要予測ができること、ならびに、生活パターンの変化と、それに伴う生活効用の変化を考慮した期待生活効用に基づく生活の質を視野に入れた交通政策の評価が可能であることが示された。

ただし、第六章に示した分析は、あくまでも生活効用モデルの構築と適用にあたっての基礎的な考察を加えるために行ったものであり、ここで構築したモデルシステムを用いて実際の交通需要予測、ならびに、政策評価を行うことはできない。そのためには、実際の個人についての、極めて大きなものとなる生活パターンの選択肢集合を適切に取り扱う方法論を提示することが不可欠である。

この認識から、第七章では、膨大な数にのぼる実行可能な生活パターンの中から最大の生活効用を与える生活パターンを動的計画法に基づいて効率的に検出するという方法を用いて、効用理論に基づいて個人の行動軌跡を再現する生活行動シミュレータ PCATS-RUM を構築した。なお、PCATS-RUM の入出力データ、ならびに、生活行動における制約条件の捉え方は PCATS とほぼ同様のものである。生活効用モデル内の未知パラメータについては、離散-連続モデルの枠組みに基づいて、はじめに資源配分モデルの考え方を用いて、ついで離散選択モデルの考え方を用いて、ダイアリーデータに基づいて段階的な推定計算を行った。その結果、徒歩の移動抵抗が他の交通機関の移動抵抗に比較して小さいこと、サービス事業所数の多い地域での宅外自由活动は限界効用が高いことなどの知見が得られた。

こうして構築したシミュレータ PCATS-RUM を用いて、第五章で PCATS についての数値計算を行った際に仮定したものと同様の仮想的な個人、ケースを想定して数値計算を行った。その結果、PCATS は、プリズムの変化に対する感度が極めて大きいことが分かった。また、PCATS-RUM は PCATS とは異なり、計算結果を論理的に解釈できること、すなわち、評価対象となる政策がどのような因果連鎖をたどって個人に影響を及ぼしているのかを把握できることが分かった。ただし、その一方で、現時点では、動的計画法を用いることで計算コストの効率化を図ってはいるものの、それでも膨大な計算時間が必要であることも明らかとなった。

一方、第六章に示したように、効用理論に基づいて個人の生活行動をモデル化した場合、その個人が一日を通じて得られる生活効用の期待値、すなわち、期待生活効用を定式化することができる。一般に、消費者にとってのある財やサービスの効用をその個人がその財・サービスを消費した際の満足の程度と解釈するならば、一日の生活パターンについて定式化される期待生活効用は、交通環境や社会環境、家族環境などのいくつかの条件の下で、その個人が 1 日の生活を通じて得られる平均的な満足の程度を表すものと捉えることができる。この点に着目して、第八章では、期待生活効用を具体的に算定した計算例を示した。ここでは、個人の生活パターンの選択肢集合についての不確実性を考慮した上で、未知パラメータ推定を行い、そして、

期待生活効用を定式化した。また、生活パターンの選択肢集合が大きい場合、期待生活効用を算定するためには膨大な繰り返し計算が必要とされることから、期待生活効用を算定する場合にはその算定目的を特化することが必要であると考えた。そして、第四章での分析と同様に、就業者の勤務終了後の生活パターンに焦点をあて、期待生活効用を算定した。これらの数値計算の結果、活動時間についてのダミー変数の係数推定値から、在宅活動、宅外自由活動の実行に伴う限界効用は活動の実行時間に反比例して逓減していくことが分かった。第七章において開発した PCATS-RUM では反比例関数で限界効用関数を定式化しているが、ここで示された結果は、この PCATS-RUM における効用関数形の妥当性を統計的に支持するものであると考えられる。さらに、期待生活効用の算定例からは、近年の都市の郊外化に伴って、就業者の生活の質は低下していることが示唆された。この傾向は、通勤時間が長くなることで自由時間が減少すること、ならびに、郊外に居住することで、限界効用の大きな都心での活動を実行する確率が低下すること、がその原因であった。この結果は、都心における職住近接の実現が、就業者の「生活の質」の向上に大きな貢献を果たすであろうことが示しているものと考えられる。

以上のように、本研究では、個人の生活行動に貢献する交通政策を立案すること、ならびに、的確な交通需要予測を行うことを目指して、activity-based approach の考え方に基づいたいくつかの生活行動モデルの開発、ならびに、生活の質を考慮した指標の定式化を行った。それらの研究を通じて、上述のようにいくつかの知見が得られたが、課題点もいくつか残されている。最後に、今後の研究に残された課題点についてまとめる。

固定活動の生成過程についての検討

第五章、第七章で構築した PCATS、および PCATS-RUM では、個人の時間帯を固定時間帯と自由時間帯とに分割し、固定時間帯における行動スケジュールを条件として自由時間帯における生活パターンを生成するという方法を用いている。第八章で期待生活効用を算定するにあたってこの方法を用いている。しかし、実際の日常生活においては、時間だけが固定されているが場所は固定されていないという場合や、実行するということについては固定されているが、時間、場所は固定されていないという場合等、様々な制約が存在している。今後、個人の生活行動を的確に再現し、そして、適切な期待生活効用を算定するためには、固定活動スケジュールの捉え方についてさらに検討を加えることが必要であるものと考えられる。それに加えて、交通政策が個人に及ぼす影響を総合的に把握するためには、中期的な意思決定、長期的な意思決定を考慮した上で固定活動スケジュールの形成過程にも着目した行動モデルの開発も必要となるものと考えられる。

PCATS ならびに PCATS-RUM の改良

本研究では、生活行動モデルとして第四章で述べた構造方程式モデルに基づくモデル、第五章で述べた逐次的意思決定過程を仮定した生活行動シミュレータ PCATS、そして、第七章で述べた効用理論に基づいた生活行動シミュレータ PCATS-RUM を構築したが、行動仮説の有無、

およびその整合性の観点から考えた場合、PCATS-RUM が最も適切に生活行動を再現する生活行動モデルであるものと考えられる。特に、第七章で示した PCATS と PCATS-RUM の比較計算からは、PCATS-RUM の方が適切に政策の影響を再現できる可能性が高いことが示された。したがって、政策評価を行う場合には、PCATS-RUM を適用することが望ましいものと考えられる。しかし、PCATS-RUM で必要とされる計算時間は PCATS のおよそ 100 倍であり、集計化を念頭においた交通需要予測の計算、ならびに、政策評価を行うために適用することが極めて困難であることが示された。この点から、現時点では、集計的な観点から政策評価を行うためには PCATS を適用することが得策であるものと考えられる。実際、PCATS と交通流シミュレータを統合したシステムを用いた政策評価計算も行われており、この計算を通じて PCATS が十分に実用可能であることも示されている¹⁾。今後、PCATS については、適切に政策の効果を分析できるような政策評価ツールとなるように、各サブモデルの再推定、ならびに意思決定過程についての再検討を行う必要がある。一方、PCATS-RUM については、計算コストの効率化をさらに図り、政策評価ツールとしての実用可能性の向上を図る必要がある。また、いずれのシミュレータでも独立であると仮定されていた種々の誤差項間の共分散を考慮した推定計算を行うことも必要である。そして、これらの努力を PCATS、PCATS-RUM の双方において重ねつつ、集計的な全体としての交通需要量についての計算を行う場合には計算コストのより低い PCATS を用い、政策が特定の個人、あるいは、セグメントに及ぼす影響の質を的確に把握することを目指すならば PCATS-RUM を用いる、といった両シミュレータの使い分けを行うことも必要であると考えられる。

個人の生活の質についての指標の開発

本研究では、第六章において効用理論の枠組みで定式化した期待生活効用を、第八章において対象を限定して、具体的に算定した。そして、この期待生活効用によって、個人の生活の質を定量化することを目指した。第八章において設定した生活効用関数には活動時間、移動時間、ならびに、サービス事業所数を導入したが、個人の生活の質がこれらの要因によってのみ規定されているとは考えられない。今後、本稿で用いた要因以外にも、住居の質や居住地域の自然環境等のさまざまな要因を導入することが不可欠であるものと思われる。それに加えて、効用理論とは異なった方法論に基づいて、個人の生活の質を計量化する方法論についても、検討を加える必要があるものと考えられる。

パネルデータを用いた動的解析

本研究で構築したいくつかのモデルは、全てクロスセクショナルデータを用いて構築されたものであるが、政策に対する対応行動を的確に予測するためには、パネルデータを用いた動的な解析が必要となるものと考えられる。

第九章 参考文献

- 1) Kitamura, R., S. Fujii, A. Kikuchi and T. Yamamoto; An Application of a Micro-simulator of Daily Travel and Dynamic Network Flow to Evaluate the Effectiveness of Selected TDM Measures for CO₂ Emissions Reduction, prepared for Transportation Research Board 77th Annual Meeting, Washington, D.C, 1998.

謝辞

本論文を結ぶにあたり，本研究を遂行する上でご指導とご援助をいただいた方々に感謝の意を表したい．

京都大学大学院工学研究科北村隆一教授には，筆者が京都大学工学部助手として研究を開始して以来，終始暖かいご指導とご鞭撻を頂いた．本研究の構想から，遂行にわたって常に情熱をもって導いていただいたことに深甚なる感謝の意を表します．京都大学大学院工学研究科飯田恭敬教授には，筆者が学部・大学院時代に直接的なご指導を頂いた．その中で，個人の行動の数理的な捉え方や現象をシミュレーションとして再現することの有効性，そして何よりも研究に取り組む姿勢と研究者としての生き方そのものをご教示頂いた．心より深く感謝いたします．

立命館大学理工学部塚口博司教授，東北大学大学院工学研究科内田敬助教授，大阪大学工学部土木工学科飯田克弘助手，京都大学大学院工学研究科宇野伸宏助手には研究の方向性やデータ収集方法，分析方法等について様々なご指導，ご助言を頂いた．心より感謝の意を表します．

研究発表や研究会等の機会においては，流通科学大学近藤勝直教授，山梨大学工学部西井和夫助教授，名城大学都市情報学部若林拓史教授，鳥取大学工学部喜多秀行教授，愛媛大学工学部朝倉康夫助教授，岐阜大学工学部秋山孝正助教授，名古屋大学大学院工学研究科森川高行助教授をはじめとする多くの先生方に貴重なご意見を頂戴した．あわせて感謝の意を表したい．

京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻交通システム分野および同土木工学専攻都市施設計画分野の先生方，諸先輩，諸兄には多くの貴重なご意見を頂くとともに，研究遂行にご協力を頂いた．特に，データ収集と整理，数値計算にあたっては，瀬戸公平氏（阪急電鉄），長沢圭介氏（大阪ガス），大塚祐一郎氏（京阪電気鉄道），門間俊幸氏（建設省），中村匡範氏（NTT），藤井宏明氏（京都大学大学院）の多大なご協力を頂いた．心から感謝いたします．

最後に，調査にご協力頂いた多くの方々に感謝したい．本論文での実証的な解析は全て，各関係機関のご協力を得て実施したアンケート調査にご回答頂いた方々のご協力によって成り立っている．阪神高速道路公団計画部調査課には調査における全面的なご協力，ならびに，数々の貴重なデータのご提供を頂いた．また，株式会社都市交通計画研究所には調査遂行にあたって様々なご協力を頂戴した．

ここに記しきれない多くの方々の学恩，ご支援によって本研究がなされたことを銘記し，深く感謝いたします．